

## PENGARUH *MODIFIED FREE INQUIRY* PENDEKATAN *SCIENCE WRITING HEURISTIC* TERHADAP KEMAMPUAN ARGUMENTASI ILMIAH

Nanda Sofa Imamah\*, Suliyanah

Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

\*Corresponding author: [nandasofa.21059@mhs.unesa.ac.id](mailto:nandasofa.21059@mhs.unesa.ac.id)

**Abstrak:** Rendahnya kemampuan peserta didik dalam menyusun argumentasi ilmiah menunjukkan diperlukan inovasi pembelajaran yang lebih mendorong pemikiran kritis dan ilmiah. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan pengaruh model *Modified Free Inquiry* (MFI) pendekatan *Science Writing Heuristic* (SWH) terhadap kemampuan argumentasi ilmiah pada materi Hukum Gas Ideal. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif desain *true-experimental pretest-posttest control group* dengan tambahan satu kelas replikasi. Sampel penelitian terdiri atas 101 peserta didik semester genap tahun ajaran 2024/2025 di salah satu SMA Negeri Surabaya dipilih melalui teknik *cluster random sampling*. Hasil penelitian menunjukkan (1) Uji-t berpasangan menginterpretasikan adanya perbedaan signifikan antara nilai *pretest-posttest*; (2) Skor *N-gain* menginterpretasikan kelompok eksperimen dan replikasi memperoleh kategori sedang pada semua komponen argumentasi ilmiah; serta (3) Uji *Post-Hoc* dalam ANOVA menginterpretasikan kelompok kontrol memiliki perbedaan skor *N-gain* yang signifikan dengan kelompok eksperimen dan replikasi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model MFI dengan pendekatan SWH dapat meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik.

**Kata Kunci:** *Modified Free Inquiry*, *Science Writing Heuristic*, Argumentasi Ilmiah, Hukum Gas Ideal, Fisika

**Abstract:** The low level of students' scientific argumentation skills highlights the need for instructional innovations that foster critical and scientific thinking. This study aims to examine the effect of the Modified Free Inquiry (MFI) model combined with the Science Writing Heuristic (SWH) approach on students' scientific argumentation skills in the context of the Ideal Gas Law. A quantitative method was employed using a true experimental design with a pretest-posttest control group and an additional replication group. The sample comprised 101 students from a public senior high school in Surabaya during the 2024/2025 academic year, selected through cluster random sampling. The results indicate that: (1) Paired sample t-test revealed significant differences between pretest and posttest scores; (2) N-gain analysis showed that both the experimental and replication groups achieved moderate improvement across all components of scientific argumentation; and (3) Post-Hoc test in ANOVA interprets the control group as having a significant difference in N-gain scores with the experimental and replication groups. These findings suggest that the MFI model integrated with the SWH approach effectively enhances students' scientific argumentation skills.

**Keywords:** *Modified Free Inquiry*, *Science Writing Heuristic*, Scientific Argumentation, Ideal Gas Laws, Physics

### PENDAHULUAN

Pendidikan merupakan suatu sistem terpadu terdiri dari komponen pendidik, peserta didik, alat, dan lingkungan yang saling berinteraksi untuk mencapai tujuan pendidikan (Pane & Dasopang, 2017). Secara institusional, pendidikan berjalan secara efektif saat dilaksanakan dalam suatu organisasi terstruktur yang telah dilembagakan, sehingga proses pendidikan dapat berlangsung secara berkesinambungan dan relevan dengan perkembangan zaman (Hafiz, 2020). Interaksi antara pendidik dan peserta didik menjadi faktor determinan dalam menciptakan lingkungan

pembelajaran yang berorientasi pada tujuan pendidikan, sehingga menghasilkan suatu perubahan sikap, keterampilan, dan pemahaman dari dalam diri peserta didik. Hal ini sejalan dengan amanat Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional yang menegaskan bahwa pendidikan berfungsi untuk meningkatkan keterampilan dan membentuk karakter peserta didik agar menjadi insan yang bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, berakhlak mulia, berilmu, cakap, mandiri, kreatif, bertanggung jawab, dan bermanfaat (Sekretariat Negara Republik Indonesia, 2003, Pasal 3).

Proses pembelajaran tidak hanya menekankan pada pencapaian tujuan pembelajaran, tetapi juga mengupayakan partisipasi aktif peserta didik secara fisik maupun mental untuk mengembangkan keterampilan abad ke-21 yang terdiri atas *critical thinking*, *communication*, *collaboration*, dan *creativity* (Ichsan et al. 2023). Berdasarkan Permendikbudristek Nomor 8 Tahun 2024 tentang Standar Isi Pendidikan Menengah, *communication skills* merupakan keterampilan esensial yang mendukung pemahaman peserta didik terhadap sains. Probosari et al. (2016) dan Pratiwi et al. (2020) mengemukakan bahwa argumentasi adalah salah satu bentuk keterampilan komunikasi yang digunakan peserta didik untuk menyampaikan hasil pemikiran dalam menyelesaikan masalah secara lisan maupun tulisan. Argumentasi yang baik tersusun atas proses penalaran, evaluasi, dan pembenaran sebagai strategi dalam memecahkan konflik (Pebriyanti et al., 2021). Dalam konteks pembelajaran sains, argumentasi ilmiah berperan untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis, pemahaman konsep, literasi sains, dan kompetensi kognitif peserta didik (Alawiyah, 2022). Dengan demikian, argumentasi ilmiah memegang peran penting memperdalam pemahaman peserta didik terhadap konsep-konsep sains.

Fisika merupakan ilmu eksakta fundamental yang mengkaji fenomena alam secara sistematis berdasarkan prinsip-prinsip yang dapat dibuktikan secara empiris (Young & Freedman, 2012). Dalam pembelajaran saintifik, proses pembelajaran fisika dimulai dengan pengenalan masalah. Selanjutnya, peserta didik mengumpulkan informasi yang relevan melalui kegiatan literasi, percobaan, maupun diskusi kelompok (Siahaan & Pane, 2021). Melalui proses ini, peserta didik diarahkan untuk menyusun argumen berdasarkan bukti empiris yang diperoleh. Supeno et al. (2017) mengemukakan bahwa peserta didik dapat menafsirkan data secara logis dan sistematis melalui argumentasi ilmiah. Peserta didik dengan kemampuan argumentasi yang baik cenderung lebih aktif dalam proses belajar, sehingga mampu menemukan solusi terhadap berbagai permasalahan dalam kehidupan sehari-hari (Ding et al., 2016). Kemampuan argumentasi ilmiah yang kuat mampu mendukung peserta didik dalam memperkuat pemahaman konsep, meningkatkan level kognitif, serta menyampaikan gagasan secara ilmiah dan terstruktur (Asmawati, 2015; Widhi et al., 2021). Oleh karena itu, argumentasi ilmiah tidak hanya berperan memperdalam pemahaman konsep fisika, tetapi juga membantu peserta didik untuk menyampaikan ide secara sistematis secara ilmiah melalui proses pembelajaran.

Faktanya, peserta didik belum memperoleh proses pembelajaran yang menerapkan argumentasi secara optimal, sehingga berdampak pada keterampilan komunikasi ilmiah dan pemahaman konsep fisika. Kondisi ini diperkuat oleh temuan Subekti & Ariswan (2016) yang menunjukkan bahwa mayoritas peserta didik tidak menyertakan bukti kuat saat mengemukakan pendapat. Hal ini dapat terjadi karena peserta didik belum mendapatkan ruang untuk belajar tentang cara menginterpretasikan data, mengevaluasi kelayakan bukti serta relevansinya, mendukung suatu klaim, merespons sanggahan, dan merevisi klaim berdasarkan bukti baru yang telah didapatkan. Di samping itu, argumentasi yang baik harus logis berdasarkan fakta dan bukti yang saling berkaitan satu sama lain. Rendahnya tingkat kemampuan argumentasi ilmiah juga dapat dipengaruhi oleh kurangnya kepercayaan diri, keterampilan komunikasi, pemahaman konsep, dan variasi model pembelajaran (Suartha et al., 2020; Widhi et al., 2021; Hasanah & Putra, 2022; Triani et al., 2023). Padahal, kemampuan argumentasi ilmiah berperan penting dalam memperdalam penguasaan konsep dan hasil belajar peserta didik (Indrawati et al., 2019).

Berdasarkan hasil pra-penelitian melalui angket analisis kebutuhan peserta didik dan wawancara guru pada salah satu sekolah SMA Negeri di Surabaya, ditemukan bahwa proses pembelajaran fisika menghadapi beberapa kendala yang dapat berdampak pada pemahaman

konsep dan kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik. Pertama, peserta didik belum terbiasa menyusun argumentasi ilmiah dengan bukti dan alasan secara logis. Kedua, model pembelajaran yang digunakan membatasi eksplorasi peserta didik. Ketiga, peserta didik kesulitan dalam menyusun analisis data dan pembahasan pada laporan ilmiah. Peserta didik menyusun laporan ilmiah secara deskriptif dengan membaca data hasil percobaan, sehingga belum mampu mengaitkan hasil yang diperoleh dengan teori relevan. Meskipun peserta didik memiliki antusiasme dan ketertarikan yang tinggi dalam mengeksplorasi konsep fisika, proses pembelajaran yang dilakukan belum memberikan ruang optimal untuk mengembangkan kemampuan argumentasi ilmiah. Akibatnya, peserta didik belum terbiasa membangun argumentasi berbasis bukti yang berdampak pada rendahnya pemahaman konsep fisika.

Ketidaksesuaian kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik dengan harapan dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Penelitian yang dilakukan oleh Kumala (2017) dan Widhi *et al.* (2021) menyampaikan tentang pentingnya argumentasi ilmiah dan penulisan laporan berbasis argumentasi dalam meningkatkan pemahaman fisika, tetapi penerapannya dalam proses pembelajaran masih kurang optimal. Hasil pra-penelitian menunjukkan bahwa inovasi pembelajaran yang dominan diimplementasikan oleh guru masih membatasi tingkat kemandirian peserta didik dalam membangun argumentasi berbasis bukti, sehingga menyebabkan peserta didik kesulitan mengaitkan data percobaan dengan teori. Kondisi ini menimbulkan adanya kesenjangan antara harapan dan kenyataan, sehingga diperlukan inovasi pembelajaran berbasis argumentasi yang mendorong keterlibatan aktif peserta didik.

Sund & Trowbridge (1973) mengemukakan bahwa model pembelajaran inkuiri dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan tingkat intervensi guru kepada peserta didik, yakni inkuiri terbimbing (*Guided Inquiry*), inkuiri bebas (*Free Inquiry*), dan inkuiri bebas yang dimodifikasi (*Modified Free Inquiry*). *Modified Free Inquiry* (MFI) merupakan salah satu jenis model pembelajaran inkuiri yang merupakan gabungan dari *Guided Inquiry* dan *Free Inquiry*. Model pembelajaran MFI terdiri dari 6 sintaks, yakni orientasi, merumuskan masalah, merumuskan hipotesis, mengumpulkan data, menguji hipotesis, dan menarik kesimpulan. Pada model pembelajaran ini, guru menyajikan masalah dan mendorong peserta didik untuk menyelesaikannya secara mandiri, tetapi tetap memberikan bimbingan minimal jika diperlukan. Selanjutnya, peserta didik mendapatkan peluang lebih besar dalam merancang dan melakukan penyelidikan atau percobaan. Implementasi model pembelajaran MFI tetap mendapatkan intervensi dari guru, tetapi tingkat intervensi guru yang diberikan kepada peserta didik lebih rendah dibandingkan model *Guided Inquiry*. Model pembelajaran ini dinilai lebih efektif karena mendorong peserta didik aktif mengeksplorasi konsep, serta mengembangkan keterampilan berpikir kritis, komunikasi, kolaborasi, dan kreatif dalam melakukan penyelidikan (Eristya & Aznam, 2019). Akan tetapi, model pembelajaran MFI belum menjelaskan cara menyusun laporan ilmiah terstruktur dan berkualitas untuk mengembangkan kemampuan argumentasi peserta didik. Upaya yang dapat dilakukan adalah mengintegrasikan MFI dengan pendekatan yang menghubungkan proses inkuiri dengan argumentasi, yakni *Science Writing Heuristic*.

*Science Writing Heuristic* (SWH) dikembangkan oleh Hand & Keys (1999) sebagai pendekatan pembelajaran yang menghubungkan proses inkuiri dengan argumentasi. Hand (2017) menyatakan bahwa pendekatan SWH mendorong peserta didik untuk meningkatkan kemampuan bahasa dan argumentasi melalui strategi *writing to learn* dengan cara memanfaatkan tulisan sebagai alat epistemik dalam meningkatkan kapabilitas intelektual. Pendekatan SWH dirancang untuk mendukung peserta didik memperkuat pemahaman konsep melalui hasil pemikiran yang disampaikan dalam bentuk tulisan sesuai format laporan ilmiah yang telah ditentukan (Stephenson & Sasler-McKnight, 2016). Format laporan dalam pendekatan SWH membantu peserta didik membangun klaim yang logis berdasarkan hasil eksperimen sebagai bagian dari proses berpikir ilmiah. Selain itu, pendekatan SWH menyediakan panduan aktivitas bagi guru dan peserta didik untuk mendukung proses penyelidikan berbasis konstruktivisme. Aktivitas guru berperan dalam memfasilitasi negosiasi atau diskusi, serta pemahaman konsep melalui membaca, menulis, dan berpikir ilmiah. Sementara itu, aktivitas peserta didik dirancang sesuai struktur argumentasi yang

mendorong keterlibatan aktif peserta didik secara individu maupun kelompok (Yoon & Karpudewean, 2022). Seluruh aktivitas ini bertujuan untuk membangun pemahaman konsep sains dengan memanfaatkan argument sebagai alat epistemik (Karaer *et al.*, 2024). Penelitian yang dilakukan oleh Sandhy *et al.* (2018) dan Yaman (2018) menunjukkan bahwa penerapan SWH dapat meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah pada pembelajaran fisika.

Penelitian Jauhariyah *et al.* (2017) menyatakan bahwa tingkat pemahaman peserta didik terhadap materi Hukum Gas Ideal masih tergolong rendah, terutama dalam mengaitkan konsep dengan fenomena sehari-hari. Guru menyatakan bahwa materi ini bersifat abstrak karena membahas partikel mikroskopis yang sulit diamati secara langsung, sehingga membutuhkan visualisasi. Dalam materi ini, sifat mikroskopis partikel gas dapat dianalisis melalui percobaan yang mengamati hubungan antara tekanan, volume, dan suhu. Oleh karena itu, peserta didik diharapkan mampu memperkuat pemahaman fisika terkait konsep Hukum Gas Ideal melalui proses inkuiri.

Melalui implementasi model pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH, guru dapat mendorong peserta didik untuk menyusun laporan ilmiah berbasis argumentasi berdasarkan format SWH. Melalui proses pembelajaran ini, peserta didik dilatih untuk menyampaikan argumentasi ilmiah dengan struktur yang dikemukakan oleh Sampson & Scleight (2013) terdiri dari tiga komponen, yakni klaim, bukti, dan pembenaran terhadap bukti. Peserta didik didorong untuk mengajukan klaim (*claim*) yang didukung oleh bukti (*evidence*) data hasil percobaan. Setelah itu, memberikan pembenaran ilmiah (*justification of the evidence*) dengan menghubungkan hasil percobaan dan teori untuk membangun argumentasi dan memahami hubungan antar variabel.

Beberapa penelitian mengungkapkan bahwa integrasi antara model pembelajaran inkuiri dan pendekatan SWH terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah. Taufik *et al.* (2017) menyatakan bahwa model *Argument Based Science Inquiry* dengan pendekatan SWH dapat mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan argumentasi ilmiah. Berikutnya, Kumala (2017) menemukan bahwa laporan ilmiah berbasis argumentasi dalam pendekatan SWH dapat memfasilitasi peserta didik dalam menyusun klaim, mengumpulkan bukti, serta mengkomunikasikan hasil secara sistematis. Selanjutnya, Hand *et al.* (2021) mengemukakan bahwa pendekatan SWH dapat meningkatkan pemahaman konsep dan komunikasi ilmiah. Selain itu, penelitian Fuadah *et al.* (2023) juga menunjukkan bahwa model pembelajaran *Argument Driven Inquiry* efektif dalam mengembangkan argumentasi ilmiah pada pembelajaran fisika.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas tentang kemampuan argumentasi ilmiah, integrasi antara model pembelajaran MFI dan pendekatan SWH masih jarang dikaji. Nisa' dan Hariyono (2019) menyatakan bahwa model pembelajaran MFI lebih efektif dibandingkan dengan *Guided Inquiry*, tetapi belum diintegrasikan dengan pendekatan SWH. Di samping itu, Taufik *et al.* (2017) dan Fuadah *et al.* (2023) mengemukakan tentang pengaruh model pembelajaran inkuiri terhadap kemampuan argumentasi ilmiah, tetapi belum dikaitkan dengan pendekatan SWH. Selain itu, penelitian Kumala (2017) dan Hand *et al.* (2021) mengkaji tentang implementasi pendekatan SWH, tetapi belum diintegrasikan dengan model pembelajaran MFI. Dengan demikian, integrasi antara model pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH dalam pembelajaran fisika terhadap kemampuan argumentasi ilmiah belum dieksplorasi secara mendalam oleh peneliti sebelumnya, sehingga terdapat ruang untuk dilakukan penelitian lebih lanjut.

Berdasarkan uraian sebelumnya, model pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH dinilai sesuai dalam pembelajaran fisika. Inovasi pembelajaran ini dapat mendorong kemandirian peserta didik dalam membangun argumentasi ilmiah karena tingkat intervensi yang diberikan oleh guru lebih rendah, sehingga tidak membatasi eksplorasi peserta didik. Keterbaruan penelitian terletak pada integrasi antara model MFI dan pendekatan SWH yang belum banyak dikaji, sekaligus memperluas penerapan pendekatan SWH dalam materi fisika. Melalui inovasi pembelajaran ini, peserta didik diharapkan mampu meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah melalui penulisan laporan ilmiah berbasis argumentasi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mendeskripsikan pengaruh model pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH dalam pembelajaran fisika terhadap kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik SMA.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2024/2025 di salah satu SMA Negeri Surabaya. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif yang didasarkan pada filsafat positivisme. Desain penelitian yang digunakan adalah *true-experimental* berbentuk *pretest-posttest control group design* dengan tambahan satu kelompok replikasi untuk meningkatkan keandalan dan konsistensi hasil penelitian. Populasi penelitian adalah peserta didik kelas XI yang mendapatkan mata pelajaran fisika di salah satu SMA Negeri Surabaya. Sampel penelitian terdiri atas 101 peserta didik kelas XI yang dipilih menggunakan teknik *cluster random sampling* terbagi menjadi tiga kelompok, yakni kelompok eksperimen, replikasi, dan kontrol.

Instrumen yang digunakan untuk mengumpulkan data dalam penelitian ini berupa lembar tes kemampuan argumentasi ilmiah yang berisi materi Hukum Gas Ideal. Lembar tes terdiri atas dua jenis, yakni *pretest* dan *posttest*. Teknik pengumpulan data penelitian dilakukan melalui tes yang disesuaikan dengan tujuan penelitian. Tes ini memuat lima butir soal uraian, dimana setiap soal mencakup tiga komponen argumentasi ilmiah yang dikemukakan oleh Sampson & Scleigh (2013), yakni kemampuan (1) menyampaikan gagasan atau klaim (*claim*); (2) menyajikan bukti (*evidence*) yang sesuai untuk mendukung klaim; serta (3) memberikan penjelasan yang tepat mengenai keterkaitan antara bukti dan klaim (*a justification of the evidence*). Pengumpulan data diawali dengan memberikan lembar *pretest* kepada peserta didik sebelum melakukan proses pembelajaran untuk mengukur kemampuan awal argumentasi ilmiah. Selanjutnya, memberikan perlakuan sesuai rancangan penelitian pada setiap kelompok, yakni kelompok eksperimen dan replikasi mendapatkan perlakuan berupa model pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH. Di sisi lain, kelompok kontrol mendapatkan perlakuan berupa model pembelajaran yang biasa digunakan oleh guru dalam mengajar materi Hukum Gas Ideal, yakni *Guided Inquiry*. Setelah itu, pengumpulan data diakhiri dengan memberikan lembar *posttest* kepada peserta didik setelah melakukan proses pembelajaran untuk mengukur kemampuan akhir argumentasi ilmiah.

Analisis peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah dilakukan melalui uji-t berpasangan, perhitungan skor *N-gain*, dan uji *one-way* ANOVA. Uji-t berpasangan melalui *software* SPSS menggunakan data *pretest* dan *posttest* untuk menganalisis ada atau tidaknya perbedaan rata-rata skor pada kelompok yang sama. Analisis *one-way* ANOVA dilakukan melalui *software* SPSS dilakukan untuk membandingkan rata-rata peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah antara kelompok eksperimen, replikasi, dan kontrol. Data yang dianalisis bukan berasal dari nilai *posttest*, tetapi rata-rata skor *N-gain* yang dihitung berdasarkan selisih antara nilai *pretest* dan *posttest* yang dinormalisasi. Nilai *posttest* tidak dapat menginterpretasikan pengaruh inovasi pembelajaran secara menyeluruh karena tidak mempertimbangkan kemampuan awal peserta didik. Sementara itu, rata-rata skor *N-gain* dapat menginterpretasikan peningkatan hasil belajar dengan menyesuaikan perubahan nilai terhadap skor awal, sehingga mengurangi bias akibat perbedaan kemampuan awal peserta didik. Oleh karena itu, skor *N-gain* disebabkan sebagai dasar uji *one-way* ANOVA karena dinilai lebih representatif untuk menilai keefektifan model pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH dalam meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik.

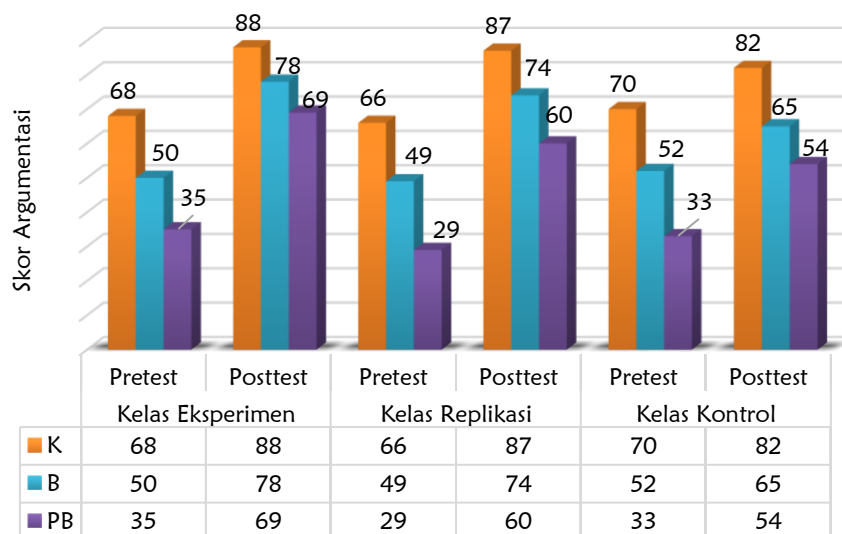
Kemampuan argumentasi ilmiah diartikan mengalami peningkatan jika (1) hasil uji-t berpasangan menunjukkan adanya perbedaan antara nilai *pretest* dan *posttest*; (2) skor *N-gain* yang diperoleh minimal berada pada nilai  $\geq 0,3$  berkategori sedang; serta (3) hasil uji *one-way* ANOVA menunjukkan adanya perbedaan rata-rata skor *N-gain* secara signifikan pada ketiga kelompok.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik dapat diketahui dari hasil *pretest* dan *posttest* yang telah dikerjakan. Setiap tes terdiri dari lima soal uraian yang disusun berdasarkan *framework* komponen argumentasi ilmiah dari Sampson & Scleigh (2013) terdiri dari klaim, bukti,

dan pembenaran dari bukti. Data hasil *pretest* dan *posttest* untuk setiap komponen argumentasi ilmiah disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Hasil Analisis Peningkatan Kemampuan Argumentasi Ilmiah Tiap Komponen

Gambar 1 menyajikan grafik hasil *pretest* dan *posttest* kemampuan argumentasi ilmiah pada tiga kelompok. Secara umum, seluruh kelompok mengalami peningkatan yang berbeda-beda. Kelompok eksperimen dan replikasi menunjukkan peningkatan lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol, terutama pada komponen pembenaran dari bukti. Temuan ini menunjukkan bahwa proses pembelajaran pada kelompok eksperimen dan replikasi lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah.

Selanjutnya, data *pretest* dan *posttest* dianalisis untuk mengetahui peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah melalui uji-t berpasangan, perhitungan skor *N-gain*, dan uji ANOVA.

1. Uji-t Berpasangan

Analisis hasil uji-t berpasangan didasarkan pada hipotesis berikut: (a)  $H_0$  diterima jika nilai Sig. (2-tailed) > 0,05 yang artinya tidak ada perbedaan antara nilai *pretest* dan *posttest*; (b)  $H_0$  ditolak jika nilai Sig. (2-tailed) < 0,05 yang artinya ada perbedaan antara nilai *pretest* dan *posttest*. Hasil analisis uji-t berpasangan menggunakan SPSS terhadap data *pretest* dan *posttest* ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis uji-t berpasangan

Kelompok	Mean	t	df	Sig. (2-tailed)	Keterangan
Eksperimen	-27,706	-13,310	33	< 0,001	$H_0$ ditolak
Replikasi	-25,548	-14,355	30	< 0,001	$H_0$ ditolak
Kontrol	-15,083	-11,806	35	< 0,001	$H_0$ ditolak

Nilai *mean* menunjukkan selisih rata-rata antara hasil *pretest* dan *posttest* setiap kelompok, sedangkan *t-value* menggambarkan tingkat perbedaan antara rata-rata nilai *pretest-posttest* jika dibandingkan dengan variasi data. Tanda negatif pada *mean* menginterpretasikan bahwa nilai *posttest* lebih tinggi dari *pretest*. Hasil analisis menunjukkan bahwa kelompok eksperimen mengalami peningkatan rata-rata sebesar 27,706 poin, kelompok replikasi meningkat 25,548 poin, dan kelompok kontrol meningkat 15,083 poin dari rata-rata nilai *pretest* ke *posttest*.

Berdasarkan hasil uji-t berpasangan pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa  $H_0$  ditolak karena ketiga kelompok memiliki nilai Sig. (2-tailed) < 0,05 yang menunjukkan adanya perbedaan antara nilai *pretest* dan *posttest*. Temuan ini menginterpretasikan bahwa seluruh kelompok mengalami peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah, terutama pada kelompok

eksperimen dan replikasi setelah mendapatkan perlakuan model pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH.

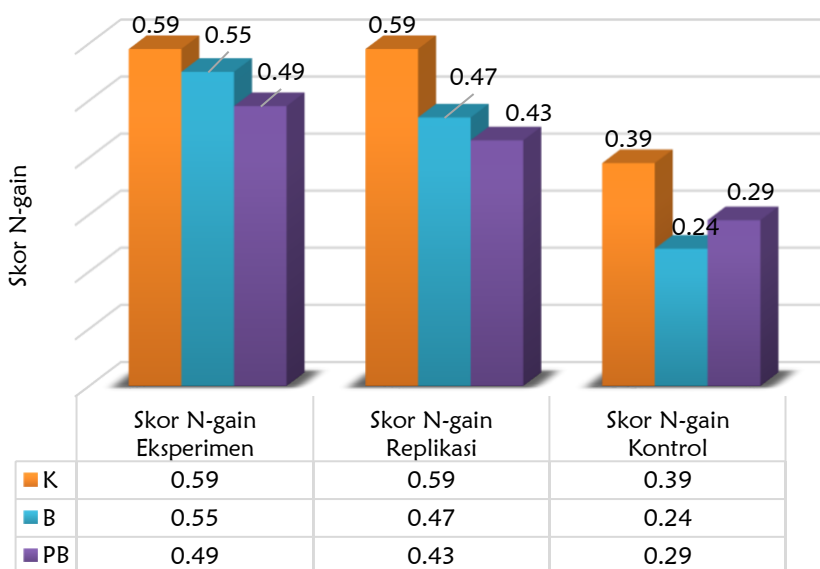
2. Skor *N-gain*

Perhitungan skor *N-gain* bertujuan untuk mengukur tingkat peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah setelah mengetahui hasil analisis uji-t berpasangan yang menunjukkan adanya perbedaan antara nilai *pretest* dan *posttest*. Soal *pretest* dan *posttest* terdiri dari lima butir soal yang mencakup tiga komponen argumentasi ilmiah pada setiap butir soal, sehingga terdapat 15 butir soal yang dianalisis secara menyeluruh. Hasil rata-rata skor *N-gain* yang dihitung berdasarkan data *pretest* dan *posttest* menggunakan SPSS disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Skor *N-gain* Tiap Komponen Argumentasi Ilmiah

Komponen Argumentasi Ilmiah	Kelompok Eksperimen		Kelompok Replikasi		Kelompok Kontrol	
	Skor <i>N-gain</i>	Kriteria	Skor <i>N-gain</i>	Kriteria	Skor <i>N-gain</i>	Kriteria
Klaim (K)	0,59	Sedang	0,59	Sedang	0,39	Sedang
Bukti (B)	0,55	Sedang	0,47	Sedang	0,24	Rendah
Pembenaran dari Bukti (PB)	0,49	Sedang	0,43	Sedang	0,29	Rendah

Berdasarkan hasil perhitungan skor *N-gain* pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa rata-rata skor *N-gain* untuk setiap komponen argumentasi ilmiah berbeda pada setiap kelompok. Kelompok eksperimen menginterpretasikan rata-rata skor *N-gain* komponen klaim (K) sebesar 0,59; bukti (B) sebesar 0,55; dan pembenaran dari bukti (PB) sebesar 0,49 dengan kriteria sedang. Selanjutnya, kelompok replikasi menginterpretasikan rata-rata skor *N-gain* komponen klaim (K) sebesar 0,59; bukti (B) sebesar 0,47; dan pembenaran dari bukti (PB) sebesar 0,43 dengan kriteria sedang. Sementara itu, kelompok kontrol menginterpretasikan rata-rata skor *N-gain* lebih rendah pada komponen klaim (K) sebesar 0,39 berkategori sedang, serta komponen bukti (B) dan pembenaran dari bukti (PB) secara berturut-turut sebesar 0,24 dan 0,29 berkategori rendah. Perbedaan skor *N-gain* antar komponen divisualisasikan Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hasil Perhitungan Skor *N-gain* Tiap Komponen Argumentasi Ilmiah

Secara keseluruhan, kelompok eksperimen menunjukkan skor *N-gain* tertinggi dibandingkan kelompok replikasi dan kontrol. Di sisi lain, kelompok kontrol memperoleh skor terendah pada seluruh komponen. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan model

pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH memberikan pengaruh positif yang lebih besar terhadap kemampuan argumentasi ilmiah.

### 3. Uji *one-way* ANOVA (*Analysis of Variance*)

Uji *one-way* ANOVA bertujuan untuk membandingkan rata-rata peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah antara kelompok eksperimen, replikasi, dan kontrol berdasarkan perbedaan model pembelajaran yang diimplementasikan. Analisis hasil uji *one-way* ANOVA didasarkan pada hipotesis berikut: (a)  $H_0$  diterima jika nilai Sig. (signifikansi) > 0,05 yang artinya tidak ada perbedaan rata-rata skor *N-gain* secara signifikan pada tiga kelompok; (b)  $H_0$  ditolak jika nilai Sig. (signifikansi) < 0,05 yang artinya ada perbedaan rata-rata skor *N-gain* secara signifikan pada tiga kelompok. Hasil analisis uji *one-way* ANOVA terhadap skor *N-gain* yang diperoleh melalui SPSS disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji *one-way* ANOVA

Uji ANOVA	df	F	Sig.	Keterangan
Between Groups	2	35,473	< 0,001	$H_0$ ditolak
Within Groups	98			
Total	100			

Berdasarkan hasil uji *one-way* ANOVA yang ditampilkan pada Tabel 3, diperoleh nilai F sebesar 35,473 dengan nilai signifikansi < 0,001 artinya  $H_0$  ditolak. Nilai F yang tinggi menunjukkan bahwa variasi antar kelompok (*between groups*) jauh lebih besar dibandingkan variasi setiap kelompok (*within groups*). Temuan ini menunjukkan adanya perbedaan skor *N-gain* secara signifikan pada ketiga kelompok.

Selanjutnya, analisis uji *Post-Hoc* dilakukan untuk membandingkan rata-rata skor *N-gain* antar kelompok secara berpasangan. Hasil uji ini ditampilkan dalam tabel *Multiple Comparisons* yang menunjukkan adanya perbedaan antara dua kelompok tertentu. Interpretasi terhadap hasil uji *Post-Hoc* dilakukan berdasarkan hipotesis berikut: (a) jika nilai Sig. (signifikansi) > 0,05 artinya tidak ada perbedaan rata-rata skor *N-gain* antara kedua kelompok secara signifikan; (b) jika nilai Sig. (signifikansi) < 0,05 artinya tidak ada perbedaan rata-rata skor *N-gain* antara kedua kelompok secara signifikan. Hasil analisis uji *Post-Hoc* dalam tabel *Multiple Comparisons* disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji *Post-Hoc Multiple Comparisons*

(I) Kelompok	(J) Kelompok	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Eksperimen	Replikasi	0,06506	0,03139	0,101
	Kontrol	0,24544*	0,03023	< 0,001
Replikasi	Eksperimen	-0,06506	0,03139	0,101
	Kontrol	0,18038*	0,03097	< 0,001
Kontrol	Eksperimen	0,24544*	0,03023	< 0,001
	Replikasi	-0,18038*	0,03097	< 0,001

Keterangan: \*Perbedaan rata-rata antar dua kelompok adalah signifikan secara statistik dengan nilai signifikansi ( $\alpha$ ) sebesar 0,05 atau 5%.

Berdasarkan hasil uji *Post-Hoc* dalam Tabel 6, diperoleh nilai *mean difference*, *std. error*, dan *signifikansi*. Nilai *mean difference* menunjukkan selisih rata-rata antara kelompok I dan kelompok J. Jika nilai *mean difference* bernilai negatif, maka rata-rata kelompok I lebih rendah dibandingkan kelompok J. Hasil perbandingan antara kelompok eksperimen dan replikasi menunjukkan *mean difference* sebesar 0,06506 dengan nilai signifikansi 0,101 yang artinya tidak ada perbedaan skor *N-gain* secara signifikan antara keduanya. Perbandingan antara kelompok eksperimen dan kontrol menghasilkan nilai *mean difference* sebesar 0,24544 dengan nilai signifikansi < 0,001 yang artinya ada perbedaan skor *N-gain* secara signifikan antara keduanya. Sementara itu, perbandingan antara kelompok replikasi dan kontrol menunjukkan

mean difference sebesar 0,18038 dengan nilai signifikansi < 0,001 yang artinya ada perbedaan skor *N-gain* secara signifikan antara keduanya. Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa tidak ada perbedaan skor *N-gain* secara signifikan pada kelompok eksperimen dan replikasi. Akan tetapi, kelompok eksperimen dan replikasi memiliki perbedaan skor *N-gain* secara signifikan dengan kelompok kontrol.

Selanjutnya, analisis uji *Post-Hoc* dalam tabel *Subset Tukey* digunakan untuk mengelompokkan beberapa kelompok berdasarkan kesamaan nilai rata-rata skor *N-gain*. Hasil analisis uji *Post-Hoc* disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji *Post-Hoc Subset Tukey*

Kelompok	N	Subset for alpha = 0,05	
		1	2
Kontrol	36	0,3011	
Replikasi	31		0,4815
Eksperimen	34		0,5466
Sig.		1,000	0,094

Berdasarkan hasil uji *Post-Hoc* dalam Tabel 7, dapat diketahui bahwa subset 1 terdiri dari kelompok kontrol, sedangkan subset 2 terdiri dari kelompok eksperimen dan replikasi. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan rata-rata skor *N-gain* secara signifikan antara kelompok eksperimen dan replikasi. Akan tetapi, kedua kelompok memiliki perbedaan rata-rata skor *N-gain* secara signifikan dengan kelompok kontrol. Temuan ini menunjukkan bahwa implementasi model pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH dapat meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik di kelompok eksperimen dan replikasi.

**Pembahasan**

Analisis terhadap jawaban *pretest* menunjukkan bahwa peserta didik belum memahami komponen argumentasi ilmiah secara menyeluruh. Rendahnya kemampuan argumentasi ilmiah dapat dipengaruhi oleh minimnya kegiatan pembelajaran yang mengajak peserta didik untuk berpikir kritis dan menyusun argumen berdasarkan data atau bukti ilmiah (Yuanata et al., 2022). Hal ini sejalan dengan pendapat Rahayu et al. (2020) yang menyatakan bahwa peserta didik akan mengalami kendala dalam mengemukakan argumen, baik secara lisan maupun tertulis jika tidak diberikan kesempatan untuk berlatih menyampaikan pendapat. Proses pembelajaran yang menekankan pada penyusunan dan penyampaian argumen sangat diperlukan untuk mengembangkan kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik (Dwiretno & Setyarsih, 2018; Baharsyah & Admoko, 2020). Oleh karena itu, model pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH diimplementasikan untuk mendorong peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik.

Setelah mengerjakan *pretest*, peserta didik mengikuti proses pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH untuk mengembangkan kemampuan berpikir ilmiah dan argumentatif. Proses pembelajaran diawali dengan *beginning ideas*, peserta didik membaca materi dan mengamati video pembelajaran yang disediakan oleh guru sebagai stimulus awal untuk membangun pemahaman awal terhadap fenomena yang dihadapi. Pada tahap *claims*, peserta didik mulai menyusun hipotesis berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan. Tahap *test* dan *observations* dilakukan saat peserta didik merancang, melakukan, dan mengumpulkan data percobaan. Selanjutnya, tahap *evidence* dan *reading* dilakukan dengan cara menganalisis data yang diperoleh. Peserta didik menyusun *justification* terhadap bukti, kemudian mengaitkannya dengan konsep ilmiah yang relevan untuk memperkuat klaim. Setelah itu, peserta didik mengembangkan hasil pengolahan data menggunakan tiga komponen utama dalam argumentasi ilmiah, yakni klaim (*claim*), bukti (*evidence*), dan pembenaran dari bukti (*a justification of the evidence*) untuk menguji hipotesis yang telah diajukan. Kegiatan pembelajaran diakhiri dengan tahap *reflection* saat peserta didik menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis data. Dengan demikian, peserta didik tidak hanya menguasai konsep secara teoritis, tetapi juga dilatih untuk menyusun dan menyampaikan

hasil analisis data dalam bentuk argumentasi ilmiah melalui implementasi model pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH.

Berdasarkan hasil uji-t berpasangan, model pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH terbukti dapat meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik. Hal ini diinterpretasikan oleh adanya perbedaan antara nilai *pretest* dan *posttest* pada ketiga kelompok. Peningkatan tertinggi terlihat pada kelompok eksperimen dan replikasi jika dibandingkan dengan kelompok kontrol. Secara berturut-turut, skor *N-gain* tertinggi untuk setiap komponen argumentasi ilmiah diperoleh pada komponen klaim, bukti, dan pembenaran dari bukti. Hal ini sejalan dengan temuan Parlan (2020) dan Nurhidayati et al. (2023) yang menyatakan bahwa peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah paling tinggi secara berurutan terdapat pada komponen klaim, bukti, dan pembenaran dari bukti. Komponen klaim (*claim*) dianggap sebagai bagian paling dasar dan mudah dipahami dalam penyusunan argumentasi ilmiah karena peserta didik hanya perlu menarik kesimpulan sederhana tanpa menyajikan dukungan berupa bukti yang kompleks (Parlan et al., 2020). Peserta didik memerlukan keterampilan yang lebih tinggi untuk mengumpulkan bukti (*evidence*) melalui pengamatan, mengumpulkan data, serta memilih informasi yang sesuai untuk mendukung klaim yang diajukan sebelumnya. Di sisi lain, sebagian peserta didik belum terbiasa memilih dan menggunakan bukti relevan untuk memperkuat klaim (Betari et al., 2021). Sementara itu, peserta didik memerlukan kemampuan mengaitkan bukti dengan klaim melalui prinsip ilmiah atau teori relevan dalam menyusun komponen pembenaran dari bukti (*justification of the evidence*), sehingga menuntut penguasaan konsep secara mendalam (Parlan, 2021). Oleh karena itu, skor *N-gain* pada komponen klaim cenderung lebih tinggi dibandingkan komponen bukti dan pembenaran dari bukti yang menuntut peserta didik memiliki kemampuan observasi, analisis, serta penalaran ilmiah lebih kompleks.

Selanjutnya, hasil uji *one-way* ANOVA menunjukkan adanya perbedaan skor *N-gain* pada kelompok eksperimen, replikasi, dan kontrol. Uji ANOVA tidak dapat menjelaskan secara spesifik kelompok mana yang berbeda secara signifikan, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut melalui uji *Post-Hoc* untuk mengidentifikasi pasangan kelompok yang menunjukkan perbedaan signifikan (Detah & Risnanosanti, 2020). Berdasarkan analisis hasil uji *Post-Hoc* dalam tabel *Multiple Comparisons* dan *Subset Tukey*, diketahui bahwa kelompok eksperimen dan replikasi. Akan tetapi, kedua kelompok menunjukkan perbedaan rata-rata skor *N-gain* yang signifikan jika dibandingkan dengan kelompok kontrol.

Perbedaan peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah antara kelompok eksperimen dan replikasi dapat dipengaruhi oleh faktor implementasi, seperti karakteristik peserta didik dan manajemen waktu pembelajaran (Chaudhary, 2015). Setiap kelompok memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Kelompok eksperimen menunjukkan sikap lebih aktif, terbuka dalam diskusi, dan memiliki tingkat antusiasme yang tinggi, sehingga lebih mudah memahami tahapan pembelajaran inkuiri. Sebaliknya, kelompok replikasi terlihat lebih pasif dan memerlukan waktu lebih lama untuk beradaptasi dengan model MFI yang menuntut kemandirian serta pemikiran ilmiah (Raman et al., 2019). Selain itu, kelompok replikasi mengikuti pelajaran fisika pada siang hari, tepatnya dua jam sebelum kegiatan belajar mengajar berakhir. Kondisi ini dapat menurunkan konsentrasi dan daya tangkap peserta didik. Di samping itu, faktor eksternal yang terdiri atas suhu ruang kelas yang panas, keterlambatan dalam memulai kegiatan pembelajaran akibat kendala teknis juga dapat mempengaruhi pelaksanaan pembelajaran (Chaudhary, 2015).

Kelompok kontrol mengikuti pembelajaran dengan model yang umumnya diimplementasikan oleh guru sekolah, yakni *Guided Inquiry* pada materi Hukum Gas Ideal. Tingkat intervensi guru kepada peserta didik pada model pembelajaran MFI lebih rendah dibandingkan *Guided Inquiry*, sehingga memberikan ruang lebih besar bagi peserta didik untuk terlibat aktif dalam proses membangun pengetahuan dan mengembangkan kemampuan argumentasi ilmiah. Hal ini sejalan dengan temuan Nisa' & Hariyono (2019) yang menyatakan bahwa model pembelajaran MFI lebih efektif dibandingkan *Guided Inquiry*. Sementara itu, kelompok eksperimen dan replikasi mendapatkan perlakuan sama, yakni penerapan model pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH yang berdampak pada peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah, sehingga

tidak menunjukkan perbedaan signifikan antara keduanya. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Marhamah *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa model pembelajaran berbasis inkuiri mampu meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah.

Penelitian yang dilakukan oleh Suryaningsih & Sugandi (2022) menyatakan bahwa model pembelajaran MFI dapat mendorong keterlibatan peserta didik karena peran guru dalam pembelajaran bersifat minimal. Suryaningsih & Mu'minah (2022) juga mengemukakan bahwa model ini mendukung pengembangan kemampuan berpikir peserta didik secara langsung dan lebih mandiri, sehingga pemahaman yang diperoleh menjadi bermakna dan sulit untuk dilupakan. Di sisi lain, pendekatan SWH berfungsi sebagai sarana komunikasi tertulis yang efektif untuk melatih keterampilan berbahasa, meningkatkan capaian kognitif, penguasaan konsep, serta kemampuan menyusun argumentasi ilmiah (Yusefni & Sriyati, 2016; Kumala, 2017; Yaman, 2018; Hand, 2017). Selain itu, penelitian Hand *et al.* (2021) mengemukakan bahwa pendekatan SWH berdampak positif terhadap kemampuan berkomunikasi, berpikir kritis, dan keterampilan menulis argumentatif peserta didik. Dengan demikian, model pembelajaran MFI dengan pendekatan SWH memiliki potensi untuk direplikasi dalam konteks pembelajaran lebih luas.

## KESIMPULAN

Implementasi model pembelajaran *Modified Free Inquiry* (MFI) dengan pendekatan *Science Writing Heuristic* (SWH) memiliki pengaruh dalam pembelajaran fisika terhadap peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik SMA, khususnya materi Hukum Gas Ideal. Hal ini dibuktikan dari hasil analisis uji-t berpasangan yang menunjukkan adanya perbedaan antara nilai *pretest* dan *posttest* pada ketiga kelompok. Kelompok eksperimen dan replikasi mendapatkan rata-rata skor *N-gain* berkategori sedang pada seluruh komponen argumentasi ilmiah. Sementara itu, kelompok kontrol memperoleh rata-rata skor *N-gain* berkategori sedang pada komponen klaim (*claim*), serta berkategori rendah pada komponen bukti (*evidence*) dan pembenaran dari bukti (*justification of the evidence*). Selain itu, uji *Post-Hoc* dalam *one-way ANOVA* menunjukkan adanya perbedaan rata-rata skor *N-gain* yang signifikan antara kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen dan replikasi. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menganalisis kemampuan argumentasi ilmiah secara lebih komprehensif dengan menggunakan framework yang lebih kompleks, menguji keefektifan model pembelajaran pada berbagai materi fisika yang relevan, serta memberikan pengenalan konsep dasar argumentasi ilmiah di awal pembelajaran disertai latihan menulis secara bertahap untuk meningkatkan keterampilan peserta didik dalam menyusun laporan ilmiah berbasis argumentasi secara sistematis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alawiyah, H. (2022). Studi literasi sains peserta didik di sekolah alam Lampung (Skripsi, [Lampung]: Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung).
- Asmawati, E. Y. (2015). Lembar kerja siswa (LKS) menggunakan model guided inquiry untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan penguasaan konsep siswa. *Jurnal pendidikan fisika FKIP UM metro*, 3(1), 1-16. <http://dx.doi.org/10.24127/jpf.v3i1.13>
- Baharsyah, A. I., & Admoko, S. (2020). Analisis kemampuan argumentasi ilmiah siswa berbasis pola toulmins argument pattern (TAP) menggunakan model argument driven inquiry dan diskusi pada pembelajaran fisika SMA. *Inovasi Pendidikan Fisika*, 9(3), 318-324.
- Betari, A., Hasanati, A., Fuadah, F., Amir, M. T., & Parno, P. (2021). Students' learning motivation through the quality of scientific argumentation skills and students' cognitive learning outcomes on newton's laws: a relationship analysis. *Jurnal ilmiah pendidikan fisika al-biruni*, 10(1), 71-84. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v10i1.7642>
- Chaudhary, G. K. (2015). Factors affecting curriculum implementation for students. *International journal of applied research*, 1(12), 984-986.
- Detah, D., & Risnanosanti, R. (2020). Perbedaan kemampuan berpikir kreatif biologi siswa antara yang mendapat pembelajaran model problem based learning (PBL) dengan model inkuiri di

- SMP Negeri 1 Tanjung Kemuning. *Jurnal bioeduscientific*, 1(2), 15-21.  
<https://doi.org/10.36085/bioeduscientific.v1i2.1040>
- Ding, L., Wei, X., & Liu, X. (2016). Variations in university students' scientific reasoning skills across majors, years, and types of institutions. *Research in science education*, 46(5), 613–632.
- Dwiretno, G., & Setyarsih, W. (2018). Pembelajaran fisika menggunakan model argument driven inquiry (adi) untuk melatih kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik. *Inovasi Pendidikan Fisika*, 7(2), 337-340.
- Eristya, A. M., & Aznam, N. (2019). Natural science learning with modified free inquiry to develop students' creative thinking skills. *Journal of physics: onference series*, 1233(1), p. 012107. IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1233/1/012107>
- Fuadah, M. I., Mubarak, H., & Suliyannah, S. (2023). The effect of argument driven inquiry (ADI) model on the scientific argumentation ability of high school students on the topic of light waves. *International journal of research and community empowerment*, 1(2), 53-61.  
<https://doi.org/10.58706/ijorce.v1n2.p53-61>
- Hand, B. (2017). Exploring the role of writing in science: a 25-year journey. *Literacy learning: the middle years*, 25(3),
- Hand, B., & Keys, C. W. (1999). Inquiry investigation: a new approach to laboratory reports. *The science teacher*, 66(4), 27-29.
- Hand, B., Chen, Y. C., & Suh, J. K. (2021). Does a knowledge generation approach to learning benefit students? A systematic review of research on the science writing heuristic approach. *Educational psychology review*, 33(2), 535–577. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09550-0>
- Hasanah, F., & Putra, P. D. A. (2022). Identifikasi kemampuan siswa SMP dalam berargumentasi melalui pendekatan pembelajaran science, technology, engineering, and mathematics (STEM). *Jurnal literasi pendidikan fisika*, 3(1), 1-9. <https://doi.org/10.30872/jlpf.v3i1.974>
- Ichsan, I., Suharyat, Y., Santosa, T. A., & Satria, E. (2023). The effectiveness of STEM-based learning in teaching 21<sup>st</sup> century skills in generation Z student in science learning: A meta-analysis. *Jurnal penelitian pendidikan IPA*, 9(1), 150-166.
- Indrawati, K.A.D., & Febrilia, B.R.A. (2019). Pola argumentasi siswa dalam menyelesaikan soal sistem persamaan linear tiga variabel (SPLTV). *Fibonacci: jurnal pendidikan matematika dan matematika*, 5(2), 141-154. <https://doi.org/10.24853/fbc.5.2.141-154>
- Jauharyah, M. N. R., Suprpto, N., Admoko, S., Setyarsih, W., Harizah, Z., & Zulfa, I. (2018). The students' misconceptions profile on chapter gas kinetic theory. *Journal of physics: conference series*, 997(1), p. 012031. IOP Publishing.
- Karaer, G., Hand, B., & French, B. F. (2024). Examining the impact of science writing heuristic (SWH) approach on development of critical thinking, science and language skills of students with and without disabilities. *Thinking skills and creativity*, 51, p. 101443.  
<https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101443>
- Kumala, L. H. (2017). Kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik kelas xi ipa man 1 pati melalui penulisan laporan praktikum asam basa dan larutan penyangga berorientasi science writing heuristic (SWH). (Skripsi, [Semarang]: Universitas Islam Negeri Walisongo).
- Marhamah, O. S., Nurlaelah, I., & Setiawati, I. (2017). Penerapan model argument driven inquiry (ADI) dalam meningkatkan kemampuan berargumentasi siswa pada konsep pencemaran lingkungan di kelas X SMA Negeri 1 Ciawigebang. *Quagga: jurnal pendidikan dan biologi*, 9(2), 39-45.
- Nisa, A. N., & Hariyono, E. (2019). Student response to the implementation of an ecopreneurship based modified free inquiry model on physics learning. *Inovasi pendidikan fisika*, 8(2), 696-699.

- Nurhidayati, E. (2023). Pengaruh model pembelajaran argument driven inquiry (ADI) dengan pendekatan stem terhadap keterampilan argumentasi pada materi cahaya dan alat optik. *INKUIRI: jurnal pendidikan IPA*, 12(3), 171-182. <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v12i3.79317>
- Pane, A., & Dasopang, M. D. (2017). Belajar dan pembelajaran. *Fitrah: jurnal kajian ilmu-ilmu keislaman*, 3(2), 333-352. <http://doi.org/10.24952/fitrah.v3i2.945>
- Parlan, P., Latifah, U., Muntholib, M. (2020). Development and implementation of students' scientific argumentation skills test in acid-base chemistry (2020). *Tadris: jurnal keguruan dan ilmu tarbiyah*, 5(2), 179-190. <https://doi.org/10.24042/tadris.v5i2.6388>
- Pebriyanti, F. (2021). Analisis mosi dan pola argumentasi pada video debat kedua calon presiden 2019 sebagai alternatif bahan ajar menganalisis teks debat kelas X tahun ajaran 2020/2021. (Skripsi, [Bandung]: Universitas Pasundan).
- Pratiwi, H. Y., Ika, Y., Sundayagra, C. (2020). Analisis kemampuan berpikir kritis ditinjau dari keterampilan argumentasi siswa melalui model argument based science inquiry (ABSI). *Jurnal riset dan kajian pendidikan fisika*, 7(2), 93-100. <https://doi.org/10.12928/jrkpf.v7i2.17093>
- Probosari, R. M., Ramli, M., Harlita, H., Indrowati, M., & Sajidan, S. (2016). Profil keterampilan argumentasi ilmiah mahasiswa pendidikan biologi FKIP UNS pada mata kuliah anatomi tumbuhan. *Bioedukasi: jurnal pendidikan biologi*, 9(1), 29-33. <https://doi.org/10.1063/1.5139820>
- Rahayu, Y., Suhendar, S., & Ratnasari, J. (2020). Keterampilan argumentasi siswa pada materi sistem gerak sma negeri kabupaten sukabumi-indonesia. *Biodik*, 6(3), 312–318. <https://doi.org/10.22437/bio.v6i3.9802>
- Raman, K., Othman, N., & Danaraj, G. (2019). Investigating key factors for successful e-learning implementation. *Asia proceedings of social sciences*, 4(2), 49-52. <https://doi.org/10.31580/apss.v4i2.725>
- Sampson, V., & Schleigh, S. (2013). *Scientific argumentation in biology: 30 classroom activities*. Virginia: NSTA Press.
- Sandhy, A. K., Tandililing, E., & Oktavianty, E. (2018). Pengaruh model inkuiri untuk meningkatkan keterampilan argumentasi peserta didik terhadap materi getaran dan gelombang. *Jurnal pendidikan dan pembelajaran khatulistiwa*, 7(10).
- Siahaan, F. E., & Pane, E. P. (2021). Penerapan pendekatan saintifik berbasis model pembelajaran guided inquiry untuk meningkatkan soft skills mahasiswa pendidikan fisika. *Jurnal basicedu*, 5(6), 5877-5884. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v5i6.1521>
- Stephenson, N. S., & Sadler-McKnight, N. P. (2016). Developing critical thinking skills using the science writing heuristic in the chemistry laboratory. *Chemistry education research and practice*, 17(1), 72-79. <https://doi.org/10.1039/C5RP00102A>
- Suartha, I. N., Setiawan, I. G. A. N., & Sudiarmika, A. A. R. (2020). Pola argumen toulmin pada proses pembelajaran IPA SMP Negeri 1 Amlapura. *Jurnal ilmiah pendidikan dan pembelajaran*, 4(1), 1-11. <https://doi.org/10.23887/jipp.v4i1.24151>
- Subekti, Y., & Ariswan, A. (2016). Pembelajaran fisika dengan metode eksperimen untuk meningkatkan hasil belajar kognitif dan keterampilan proses sains. *Jurnal inovasi pendidikan IPA*, 2(2), 252-261. <https://doi.org/10.21831/jipi.v2i2.6278>
- Sund, R. B., & Trowbridge, L. W. (1973). *Teaching science by inquiry in the secondary school*. Ohio: Charles E. Merrill.
- Supeno, S., Kurnianingrum, A. M., & Cahyani, M. U. (2017). Kemampuan penalaran berbasis bukti dalam pembelajaran fisika. *Jurnal pembelajaran dan pendidikan sains*, 2(1), 65-78.
- Suryaningsih, Y., & Mu'minah, I. H. (2022). The application of modified free inquiry for the science process skills. *Jurnal mangifera edu*, 7(1), 65-74. <https://doi.org/10.31943/mangiferaedu.v7i1.143>
- Suryaningsih, Y., & Sugandi, M. K. (2022). Implementasi modified free inquiry melalui aplikasi google classroom. *Mirabilis: journal of biology education*, 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.56916/jm.v1i1.14>

- Taufik, A. N., Rahman, T., & Solihin, H. (2019). The use of argument based science inquiry learning model by using science writing heuristic approach to build students argument ability in environmental pollution theme. *Journal of physics: conference series*, 1157(2), p. 022048. IOP Publishing.
- Triani, E. (2023). Identifikasi keterampilan proses sains dan kemampuan berargumentasi. *Jurnal pendidikan dan pembelajaran IPA Indonesia*, 13(1), 9-16.  
<https://doi.org/10.23887/jppii.v13i1.56996>
- Widhi, M. T. W., Hakim, A. R., Wulansari, N. I., Solahuddin, M. I., & Admoko, S. (2021). Analisis keterampilan argumentasi ilmiah peserta didik pada model pembelajaran berbasis toulmin's argumentation pattern (TAP) dalam memahami konsep fisika dengan metode library research. *PENDIPA: journal of science education*, 5(1), 79-91.  
<https://doi.org/10.33369/pendipa.5.1.79-91>
- Yaman, F. (2018). Effects of the science writing heuristic approach on the quality of prospective science teachers' argumentative writing and their understanding of scientific argumentation. *International journal of science and mathematics education*, 16(3), 421-442.  
<https://doi.org/10.1007/s10763-016-9788-9>
- Yoon, L. Y., & Karpudewan, M. (2022). Science writing heuristics improve pre-university students' understanding of energy transfer in an ecosystem and the ability to provide quality arguments. *Journal of turkish science education*, 19(1), 82-96.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2012). *University Physics with Modern Physics* (13<sup>th</sup> ed.). Boston: Pearson.
- Yuanata, B. E., Artanti, K. P., Saregar, A., & Deta, U. A. (2022). Profil keterampilan ilmiah peserta didik pada model pembelajaran berbasis toulmin's argumentation pattern (TAP) dalam memahami konsep fisika. *Jurnal ilmu pendidikan dan pembelajaran*, 1(1), 1-6.  
<https://doi.org/10.58706/jipp.v1n1.p1-6>
- Yusefni, W., & Sriyati, S. (2015). Analisis hubungan aktivitas writing to learn dengan kemampuan berkomunikasi lisan siswa dalam pembelajaran science writing heuristic. *Prosiding simposium nasional inovasi dan pembelajaran sains*, 585-588.