

**SCIENTIFIC UNDERSTANDING DALAM PENDIDIKAN GURU IPA:
TINJAUAN TEORITIS DAN IMPLIKASI PEDAGOGIS**

Hilya Wildana Sofia¹⁾ Aminatur Rosyidah²⁾

Riris Idiawati³⁾ Izza Aulia Mahdlah⁴⁾

^{1,2,3)} Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas KH. Mukhtar Syafaat
Email:hilyasofia@iaida.ac.id

Abstrak: Scientific understanding atau pemahaman ilmiah merupakan fondasi kritis bagi calon guru IPA dalam mengajarkan sains secara mendalam dan bermakna. Namun, masih terdapat kesenjangan antara penguasaan konten sains dengan kemampuan mengkonstruksi dan mentransfer pengetahuan tersebut dalam konteks pedagogis. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis konsep scientific understanding dari perspektif teoretis serta menguraikan implikasinya dalam pendidikan guru IPA. Studi ini menggunakan pendekatan tinjauan literatur sistematis dengan menganalisis artikel teoritis dan empiris terkait scientific understanding, pendidikan guru IPA, dan pedagogi sains dari sumber terindeks (2019–2024). Analisis dilakukan secara tematik untuk mengidentifikasi pola konseptual dan rekomendasi praktis. Hasil Analisa menunjukkan bahwa scientific understanding calon guru IPA memerlukan pendekatan pembelajaran yang tidak hanya berfokus pada konten, tetapi juga pada proses konstruksi pengetahuan dan refleksi epistemologis. Rekomendasi kebijakan mencakup revisi kurikulum pendidikan guru IPA yang mengakomodasi dimensi NOS dan pelatihan dosen dalam metode pedagogis berbasis bukti.

Kata Kunci: Pemahaman Ilmiah, Pendidikan guru IPA, pedagogi sains, Nature of Science (NOS)

Pendahuluan

Pemahaman ilmiah adalah konsep multifaset yang melibatkan kemampuan untuk menjelaskan, memprediksi, dan memanipulasi fenomena berdasarkan bukti empiris dan kerangka teoritis. Menurut (Lawler, 2024) pemahaman ilmiah melibatkan analisis fenomena melalui metode ilmiah, yang berkebalikan dengan pandangan tradisional tentang pengetahuan dan penjelasan proposisional. Ini menekankan pentingnya kemampuan dalam meningkatkan pemahaman konsep ilmiah. *Scientific understanding* mencakup kemampuan untuk memahami hubungan suatu fenomena dan mengartikulasikan dalam penjelasan, hal ini membedakannya dari pengetahuan proposisional belaka. Konsep tersebut merupakan dasar dari praktik ilmiah, karena memungkinkan peneliti untuk mengembangkan wawasan dan penjelasan tentang alam.

Perkembangan abad ke-21 menuntut calon guru IPA tidak hanya menguasai konten sains, tetapi juga memiliki *scientific understanding* yang mendalam untuk membekali peserta didik dengan literasi sains yang holistik (De Regt, 2017). *Scientific understanding* didefinisikan sebagai kemampuan untuk mengaitkan konsep-konsep sains secara koheren, memberikan penjelasan kausal, dan menerapkan pengetahuan dalam konteks nyata (Suniah, 2024). Namun, dalam penelitian yang dilakukan oleh (Amba, 2025) mengungkapkan bahwa banyak calon guru IPA masih kesulitan dalam mencapai pemahaman ilmiah yang mendalam, terutama dalam menghubungkan teori dengan fenomena kompleks. Hal ini menjadi tantangan serius mengingat guru IPA berperan sebagai gatekeeper dalam membentuk persepsi siswa terhadap sains.

Pemahaman ilmiah (*scientific understanding*) guru IPA di Indonesia saat ini menunjukkan kemajuan, tetapi masih menghadapi tantangan yang signifikan di berbagai aspek. Beberapa temuan menunjukkan bahwa banyak guru masih mengalami kesulitan dalam memahami konsep-konsep tertentu, seperti optik dan Cahaya (Indrawati & Nurpatri, 2022; WIDIARINI dkk., 2025). Hal ini berdampak pada kemampuan mereka dalam merancang strategi pembelajaran yang efektif. Selain itu, terkait pemahaman *Nature of Science* (NoS) guru belum sepenuhnya memahami hakekat IPA sebagai gabungan antara produk ilmiah, proses ilmiah, dan

sikap ilmiah (Suja, 2023). Padahal, pemahaman ini penting untuk membelajarkan IPA secara multidimensi. Terlebih, Guru IPA dituntut untuk mengintegrasikan nilai-nilai seperti literasi sains, pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan (ESD), dan penguatan profil pelajar Pancasila dalam pembelajaran (Pradipta & Rochmiyati, 2024). Namun, kompetensi ini masih perlu diperkuat melalui pelatihan dan reformulasi kurikulum guru. Secara keseluruhan, meskipun ada upaya peningkatan melalui seminar, workshop, dan pelatihan, masih diperlukan dukungan sistemik agar guru IPA dapat mengembangkan pemahaman ilmiah yang mendalam dan relevan dengan tantangan zaman.

Kurikulum pendidikan guru IPA saat ini sering kali lebih menekankan pada penguasaan konten daripada pengembangan *scientific understanding* (Viclara, 2025). Padahal, pemahaman yang bersifat prosedural dan dekontekstual dapat menghambat kemampuan calon guru dalam merancang pembelajaran yang bermakna (Chaer dkk., 2025; Ramdhan & Hakim, 2025). Penelitian oleh (Aulia, 2024) menunjukkan bahwa calon guru yang memiliki *scientific understanding* kuat cenderung lebih efektif dalam mengajarkan sains secara inkuiri dan mengatasi miskonsepsi siswa. Oleh karena itu, pendekatan pedagogis dalam pendidikan guru IPA perlu direkonstruksi untuk memfasilitasi pengembangan dimensi-dimensi kunci *scientific understanding*.

Artikel ini bertujuan untuk mengisi celah teoretis dan praktis dengan menyajikan tinjauan komprehensif tentang *scientific understanding* dalam pendidikan guru IPA. Pertama, artikel akan mengkaji hakikat *scientific understanding* berdasarkan perspektif epistemologis sains. Kedua, artikel akan menganalisis tantangan dalam mengembangkan *scientific understanding* calon guru IPA. Ketiga, artikel akan menawarkan rekomendasi strategi pedagogis berbasis bukti untuk memperkuat pemahaman saintifik calon guru. Dengan demikian, artikel ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan kurikulum pendidikan guru IPA yang lebih relevan.

Metode Penelitian

Studi ini menggunakan metode tinjauan literatur sistematis (*systematic literature review*) untuk menganalisis konsep *scientific understanding* dan

implikasinya dalam pendidikan guru IPA. Analisis data dilakukan secara tematik menggunakan pendekatan Braun dan Clarke (2006) untuk mengidentifikasi pola konseptual yang muncul (Adelliani dkk., 2023). Koding dilakukan terhadap teks-teks terkait definisi *scientific understanding*, indikator pengukurannya, dan strategi pedagogis yang diusulkan. Temuan kemudian disintesis untuk menjawab pertanyaan penelitian: (1) Bagaimana hakikat *scientific understanding* dalam konteks pendidikan guru IPA? (2) Apa saja tantangan dalam mengembangkan *scientific understanding* calon guru IPA? dan (3) Strategi pedagogis apa yang efektif untuk memperkuat *scientific understanding*? Dengan tujuan untuk meninjau kerangka teoritis dan analisis prakti

Hasil Dan Pembahasan

a. Teori Dasar *Scientific Understanding*

Pemahaman ilmiah (*scientific understanding*) merupakan konstruk multidimensi yang melibatkan penguasaan konseptual, kemampuan menjelaskan fenomena secara kausal, dan penerapan pengetahuan sains dalam konteks nyata (Handayani, 2025). Pemahaman ilmiah diwujudkan melalui memahami hubungan suatu fenomena dan mengartikulasikan hubungan ini sebagai penjelasan. Kemampuan ini melibatkan penyelarasan bahasa dengan pengalaman, serta menekankan perlunya penjelasan untuk mencapai pemahaman dalam praktik ilmiah (Pratama, 2024). Berbeda dengan sekadar menghafal fakta, pemahaman ilmiah mensyaratkan integrasi antara *conceptual knowledge* (pengetahuan konseptual) dan *epistemic knowledge* (pengetahuan tentang bagaimana pengetahuan sains dibangun) (Handayani, 2025).

Menurut para ahli pemahaman ilmiah merupakan konsep kompleks yang mencakup kemampuan untuk menerangkan, memprediksi, dan mengendalikan fenomena berdasarkan bukti empiris dan kerangka teori (Bahtiar dkk., 2025). *Underdetermination of theories* (kurangnya penentuan teori), di mana beberapa teori dapat menjelaskan data empiris yang sama, berperan penting dalam membentuk pemahaman ilmiah. Hal ini menguji keyakinan epistemologis bahwa sains selalu bergerak menuju kebenaran tunggal, sebab bukti empiris saja mungkin tidak cukup untuk membuktikan keabsahan suatu teori (Andri dkk., 2025).

Pemilihan teori sering didasarkan pada kriteria non-empiris seperti kesederhanaan, konsistensi, dan daya jelas, yang mencerminkan nilai-nilai kognitif dalam penyelidikan ilmiah (Carrier, 2011). Dalam bidang seperti mekanika kuantum, di mana terdapat banyak interpretasi yang setara secara empiris, *underdetermination* menunjukkan batasan realisme ilmiah dan kemungkinan adanya kebenaran yang bersaing. Hal ini menegaskan pentingnya kebajikan teoretis dalam memandu penelitian ilmiah serta perlunya pendekatan pragmatis terhadap entitas yang tidak teramati (Mas'odi dkk., t.t.) . Terlebih, perdebatan tentang *underdetermination* berdampak besar pada filsafat sains, mempertanyakan hierarki penjelasan dan doktrin *explanatory exclusion*, sehingga memengaruhi cara penjelasan ilmiah dirumuskan dan dipahami (Dewi dkk., 2024). Singkatnya, pemahaman ilmiah tidak hanya berkaitan dengan pengumpulan data empiris, tetapi juga melibatkan interaksi kompleks antara bukti, teori, dan nilai-nilai yang mendasari praktik ilmiah.

Para ahli memahami konsep pemahaman ilmiah sebagai konstruksi multifaset yang bervariasi secara signifikan lintas disiplin ilmu dan konteks. Pemahaman ini dibentuk oleh interaksi kerangka teoritis, keterampilan, dan dinamika sosial penyelidikan ilmiah. Bagian berikut menguraikan aspek-aspek kunci dari konsep ini.

1.) Pemahaman Kontekstual Ilmu Pengetahuan

Konsep kontekstual menyatakan bahwa teori ilmiah berfungsi sebagai simulasi realitas daripada deskripsi langsung. Pendekatan ini menekankan intensionalitas dalam memahami fenomena dan menjembatani kesenjangan antara perspektif epistemologis yang berbeda dan meningkatkan komunikasi di antara beragam pemangku kepentingan dalam sains (Muakhiroh, 2022).

2.) Ketidakpastian dan Interpretasi Ilmiah

Para ahli mengakui bahwa ketidakpastian ilmiah ditafsirkan secara berbeda di seluruh bidang, mempengaruhi kebijakan dan persepsi publik. Misalnya, ilmuwan alam dapat menggunakan kerangka matematika yang tidak diterjemahkan dengan baik ke khalayak yang lebih luas, yang menyebabkan kesalahpahaman tentang temuan ilmiah (Wiratama & Albina, 2025).

3.) Keterampilan dan Kejelasan

Pemahaman dalam sains bukan hanya tentang pengetahuan tetapi juga melibatkan pengembangan keterampilan yang memfasilitasi pemahaman. Para ahli berpendapat bahwa baik orang awam maupun spesialis bergantung pada keterampilan diam-diam untuk mencapai pemahaman, menyoroti pentingnya konteks dalam menentukan apa yang dianggap cerdas (Ho dkk., 2023).

4.) Keahlian Kolektif

Keahlian ilmiah modern semakin ditandai oleh saling ketergantungan di antara para peneliti. Pendekatan kolektif ini memerlukan redefinisi keahlian, menekankan peran produksi pengetahuan kolaboratif dan keandalan informan dalam wacana ilmiah (Arvanitis, 2021).

Sementara pandangan yang berlaku menekankan kompleksitas pemahaman ilmiah, beberapa berpendapat untuk perspektif yang lebih disederhanakan yang berfokus pada komunikasi yang jelas dan keterlibatan publik. Pandangan alternatif ini menunjukkan bahwa meningkatkan pemahaman publik tentang sains dapat mengurangi kesalahpahaman dan mendorong keterlibatan masyarakat yang lebih baik dengan isu-isu ilmiah.

b. Scientific Understanding dalam Praktik Pembelajaran

Teori konstruktivis Vygotsky (1978) menekankan bahwa pemahaman ilmiah berkembang melalui interaksi sosial dan scaffolding (Alviani & Budiati, 2025). Guru IPA dengan pemahaman ilmiah yang kuat tidak hanya menguasai materi, tetapi juga mampu membimbing siswa untuk mengkonstruksi pengetahuan mereka sendiri melalui pertanyaan pemantik (*prompting questions*) dan aktivitas inkuiri. Hal ini sejalan dengan kerangka *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) yang dikembangkan oleh Shulman (1986), di mana guru harus menggabungkan pengetahuan konten dengan strategi pengajaran yang sesuai dengan karakteristik siswa (Andini dkk., 2024).

Pemahaman ilmiah sangat penting bagi guru IPA karena secara langsung mempengaruhi efektivitas mengajar mereka dan hasil belajar siswa. Pemahaman yang kuat tentang konsep ilmiah memungkinkan guru untuk menerapkan strategi

pedagogis yang efektif, terutama yang selaras dengan pendekatan ilmiah, yang telah terbukti meningkatkan keterlibatan dan pemahaman siswa (Ristiani dkk., 2025). Dalam konteks guru IPA, pemahaman ini mencakup tiga lapisan utama: (1) pemahaman konten disiplin ilmu (fisika, kimia, biologi), (2) pemahaman tentang hakikat sains (Nature of Science/NOS), dan (3) kemampuan mentransfer pengetahuan tersebut ke dalam praktik pedagogis (Toharudin dkk., 2023).

Pada praktik pedagogis, pemahaman ilmiah guru IPA tercermin dari kemampuan mereka untuk: menjelaskan konsep secara multidimensi. Misalnya, ketika mengajarkan fotosintesis, guru tidak hanya menyebutkan rumus kimia, tetapi juga menghubungkannya dengan dinamika ekosistem dan tantangan pangan global; Mengidentifikasi dan mengoreksi miskonsepsi; Merancang pembelajaran berbasis inkuiri. Guru dengan pemahaman ilmiah mendalam cenderung menggunakan pendekatan model-based learning (Sugiartini dkk., 2024) atau argument-driven inquiry di mana siswa diajak untuk menguji hipotesis dan merevisi model mental mereka (Arslan dkk., 2023; Rosyidah dkk., 2023).

Namun, tantangan utama terletak pada kesenjangan antara teori dan praktik. Data dari TIMSS (2020) mengungkapkan bahwa hanya 35% guru IPA di Indonesia yang secara konsisten menggunakan metode inkuiri di kelas, sebagian besar karena keterbatasan fasilitas laboratorium dan beban kurikulum yang padat konten. Selain itu, pelatihan guru sering kali lebih menekankan aspek pedagogi umum daripada pendalaman *content knowledge* (Jenderal, 2021).

c. Implikasi pedagogis Scientific understanding

Salah satu indikator kunci pemahaman ilmiah guru adalah penguasaan mereka tentang Nature of Science (NOS), yang mencakup pemahaman bahwa sains bersifat tentatif, berbasis bukti, dan melibatkan kreativitas. Guru yang memahami NOS akan menghindari pengajaran sains sebagai "kumpulan fakta mutlak" dan sebaliknya, menekankan proses berpikir ilmiah. Contohnya, ketika membahas evolusi, guru bisa mendorong siswa untuk menganalisis kontroversi sosial seputar teori ini sambil menegaskan perbedaan antara scientific theory dan opini. Integrasi Nature of Science (NOS) ke dalam Pengetahuan Konten Pedagogis (PCK) meningkatkan kualitas pembelajaran dengan mempromosikan pemahaman yang

lebih dalam tentang penyelidikan ilmiah, teori, dan konteks sosial sains. Pendekatan ini menumbuhkan pemikiran kritis dan penalaran ilmiah di antara siswa, memungkinkan mereka untuk mengembangkan pemahaman yang komprehensif tentang sains. Akibatnya, ini memberdayakan siswa untuk membuat keputusan berdasarkan informasi dan menerapkan prinsip-prinsip ilmiah dalam konteks dunia nyata, yang pada akhirnya meningkatkan efektivitas keseluruhan pendidikan sains di sekolah (Cahyani & Siagian, 2024).

Hubungan antara pemahaman ilmiah dan keterampilan dan kompetensi guru sangat penting untuk pendidikan sains yang efektif. Penelitian menunjukkan bahwa pemahaman guru tentang sifat sains (NOS) secara signifikan berkorelasi dengan kompetensi mengajar mereka, terutama di bidang-bidang seperti sifat tentatif pengetahuan ilmiah dan pentingnya imajinasi dalam sains. Selanjutnya, kompetensi mengajar, termasuk profesionalisme dan perencanaan pendidikan, secara langsung mempengaruhi prestasi akademik siswa dalam sains, meskipun korelasi langsung antara kompetensi guru dan kinerja siswa tidak diamati secara konsisten. Selain itu, integrasi Pengetahuan Konten Pedagogis Teknologi (TPACK) sangat penting, karena meningkatkan kompetensi ilmiah siswa, menyoroti perlunya pergeseran pedagogis menuju pembelajaran berbasis penyelidikan. Selain itu, strategi pengajaran yang efektif yang mempromosikan literasi ilmiah dan pemikiran kritis sangat penting untuk mengembangkan keterampilan pemecahan masalah dan kemampuan argumentasi ilmiah (Rosyidah dkk., 2023). Dengan demikian, pemahaman yang kuat tentang prinsip-prinsip ilmiah di antara guru adalah dasar untuk menumbuhkan literasi dan kompetensi ilmiah siswa.

Pemahaman ilmiah sangat penting bagi guru IPA karena secara langsung mempengaruhi efektivitas mengajar mereka dan hasil belajar siswa. Pemahaman yang kuat tentang konsep ilmiah memungkinkan guru untuk menerapkan strategi pedagogis yang efektif, terutama yang selaras dengan pendekatan ilmiah, yang telah terbukti meningkatkan keterlibatan dan pemahaman siswa]. Bagian berikut menguraikan pentingnya pemahaman ilmiah bagi guru IPA.

- 1) Meningkatkan Kualitas Pengajaran

Argumentasi Berbasis Bukti: Guru dengan pengetahuan ilmiah yang kuat dapat membangun dan mengevaluasi argumen berbasis bukti, yang penting untuk mengajarkan topik kompleks seperti pemanasan global. Pengembangan Kurikulum: Pemahaman mendalam tentang prinsip-prinsip ilmiah memungkinkan guru untuk mengembangkan dan menyesuaikan kurikulum yang memenuhi standar pendidikan dan kebutuhan siswa.

1) Meningkatkan Hasil Siswa

Pembelajaran Aktif: Menerapkan pendekatan ilmiah mendorong pembelajaran aktif, yang mengarah pada peningkatan keterlibatan siswa dan kinerja akademik.

Berpikir Kritis: Guru yang mahir dalam sains dapat menumbuhkan keterampilan berpikir kritis pada siswa dengan lebih baik, mempersiapkan mereka untuk tantangan masa depan.

Sebaliknya, beberapa berpendapat bahwa penekanan pada pemahaman ilmiah dapat menutupi keterampilan mengajar penting lainnya, seperti kecerdasan emosional dan manajemen kelas, yang sama pentingnya untuk menumbuhkan lingkungan belajar yang mendukung.

Kesimpulan

Pemahaman ilmiah guru IPA bukan hanya tentang "tahu apa", tetapi juga "tahu bagaimana" dan "tahu mengapa". Penguatan dimensi ini memerlukan kolaborasi antara LPTK, kebijakan pendidikan, dan komunitas praktisi untuk menciptakan ekosistem pembelajaran yang mendorong kedalaman berpikir. Tanpa ini, upaya peningkatan literasi sains siswa hanya akan berhenti pada permukaan.

Artikel ini menyoroti pentingnya *scientific understanding* sebagai kompetensi inti calon guru IPA. Tinjauan literatur mengungkapkan bahwa pemahaman saintifik yang mendalam memungkinkan calon guru untuk mengajarkan sains secara lebih efektif dan bermakna. Namun, pengembangan *scientific understanding* menghadapi tantangan seperti kurikulum yang terlalu padat, miskonsepsi, dan kurangnya pelatihan pedagogis bagi dosen. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan restrukturisasi kurikulum pendidikan guru IPA yang mengintegrasikan pendekatan berbasis inkuiri, representasi multimodal, dan penilaian autentik.

Implikasi praktis dari studi ini mencakup rekomendasi untuk: (1) menyusun kurikulum yang menyeimbangkan kedalaman dan keluasan konten, (2) memberikan pelatihan pedagogis bagi dosen tentang strategi pengembangan scientific understanding, dan (3) memfasilitasi pengalaman belajar berbasis penelitian bagi calon guru. Studi lanjutan dapat mengeksplorasi efektivitas model-model pedagogis spesifik dalam konteks lokal, serta dampak scientific understanding guru terhadap hasil belajar siswa. Dengan mengimplementasikan rekomendasi ini, pendidikan guru IPA dapat lebih efektif dalam menghasilkan pendidik sains yang kompeten dan reflektif.

Daftar Pustaka

- Adelliani, N., Sucirahayu, C. A., & Zanjabila, A. R. (2023). *Analisis tematik pada penelitian kualitatif*. Penerbit Salemba.
- Alviani, A. A., & Budiati, A. C. (2025). Scaffolding Practices in Sociology Learning: Strategies, Impacts, and Challenges for Teachers in Guiding Digital Native Learners. *JURNAL PENDIDIKAN IPS*, 15(1), 171–181.
- Amba, M. M. (2025). *IDENTIFIKASI KESULITAN BELAJAR SISWA PADA MATA PELAJARAN IPA DI SMP NEGERI TARAKAN*.
- Andini, P., Karo, Z. B., Herawati, H., & Syahril, S. (2024). Analisis Peningkatan Keterlibatan Siswa Melalui Pendekatan TPACK Dalam Proses Belajar Mengajar. *Morfologi: Jurnal Ilmu Pendidikan, Bahasa, Sastra Dan Budaya*, 2(3), 181–190.
- Andri, A., Irawan, I., & Malik, A. (2025). *Falsifikasi sebagai Pisau Bermata Dua: Kemajuan dan Keterbatasan dalam Sains*. PT. Star Digital Publishing, Yogyakarta-Indonesia.
- Arslan, H. O., Genc, M., & Durak, B. (2023). Exploring the effect of argument-driven inquiry on pre-service science teachers' achievement, science process, and argumentation skills and their views on the ADI model. *Teaching and Teacher Education*, 121, 103905.
- Arvanitis, E. (2021). Educating 'others': Drawing on the collective wisdom of intercultural experts. *British Educational Research Journal*, 47(4), 922–941.
- Aulia, A. A. A. (2024). The Relationship Between Cognitive Ability in Mastery of Science Concepts and Innovative Ideas of Science Teaching for Prospective Elementary School Teachers. *MISOOL: Jurnal Pendidikan Dasar*, 6(1), 42–51.

- Bahtiar, M. R., Nugraha, A. K., Munggaran, M. D., Irfansah, M. R., Filiadipura, R., & Nur, A. (2025). Teori Sebagai Landasan Ilmiah: Bahasa, Penalaran, Justifikasi, Penjelasan, Dan Pengujian. *Journal ANC*, 1(3), 306–317.
- Cahyani, K. N., & Siagian, I. (2024). Penerapan Prinsip-prinsip Pengembangan Belajar dalam Dunia Pendidikan dalam Mengoptimalkan Proses Pembelajaran. *Indonesian Research Journal on Education*, 4(4), 1195–1201.
- Carrier, M. (2011). Underdetermination as an epistemological test tube: Expounding hidden values of the scientific community. *Synthese*, 180(2), 189–204.
- Chaer, H., Efendi, M., & Qodri, M. S. (2025). PEMBELAJARAN KONTEKSTUAL. *JURNAL LISDAYA*, 21(1), 14–28.
- De Regt, H. W. (2017). *Understanding scientific understanding*. Oxford university press.
- Dewi, A. P., Enjelika, E., & Winarno, A. (2024). Ontologi Sains Modern: Fondasi Filsafat Di Balik Pengetahuan Ilmiah. *Jurnal Bintang Manajemen*, 2(4), 122–133.
- Handayani, S. A. (2025). PERAN NATURE OF SCIENCE (NOS) DALAM PENGEMBANGAN LITERASI SAINS. *Cognitive: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, 3(2), 18–34.
- Ho, Y.-R., Chen, B.-Y., & Li, C.-M. (2023). Thinking more wisely: Using the Socratic method to develop critical thinking skills amongst healthcare students. *BMC medical education*, 23(1), 173.
- Indrawati, E. S., & Nurpatri, Y. (2022). Problematika pembelajaran ipa terpadu (kendala guru dalam pengajaran ipa terpadu). *Educativo: Jurnal Pendidikan*, 1(1), 226–234.
- Jenderal, S. (2021). Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. *Inovasi*.(2022, 7.
- Lawler, I. (2024). Scientific understanding. *The Routledge Handbook of Philosophy of Scientific Modeling*, 298–311.
- Mas'odi, M. P., Ardhian Zahroni, S., Suciati, S. S., Asrof, M. P., & Ribut Wahyu, E. (t.t.). *Panduan Lengkap Metodologi Penelitian: Dari Teori hingga Aplikasi*. Penerbit Adab.
- Muakhiroh, S. (2022). PENDEKATAN PEMBELAJARAN KONTEKSTUAL DALAM MENINGKATKAN PEMAHAMAN MATERI ILMU PENGETAHUAN ALAM PADA TINGKAT SEKOLAH DASAR. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 3(9).
- Pradipta, H., & Rochmiyati, S. (2024). Membentuk karakter Profil Pelajar Pancasila pada siswa SD melalui pembelajaran IPA. *Tuladha: Jurnal Pendidikan Dasar*, 3(2), 67–77.

- Pratama, R. A. (2024). *Sains In Word: Meningkatkan Literasi*. GUEPEDIA.
- Ramdhan, T. W., & Hakim, Z. (2025). DESAIN DAN PERENCANAAN PEMBELAJARAN. *Press STAI Darul Hikmah Bangkalan*, 1(1), 1–203.
- Ristiani, R., Ali, A., & Apriyanto, A. (2025). *Konsep Dasar Pembelajaran IPA*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Rosyidah, A., Suwono, H., & Susilo, H. (2023). Peningkatan Keterampilan Argumentasi Melalui Model Argument-Driven Inquiry (Adi). *Indonesian Journal of Mathematics, Science dan Education Mathematics, Science*, 1(3), 98–104.
- Sugartini, N. N. A., Gunamantha, I. M., & Ardana, I. M. (2024). Model Pembelajaran Project Based Learning terhadap Pemahaman Konsep IPA dan Sikap Ilmiah Siswa Kelas IV SD. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Profesi Guru*, 7(2), 293–305.
- Suja, I. W. (2023). *Keterampilan Proses Sains dan Instrumen*. PT. RajaGrafindo Persada-RajaGrafindo Persada.
- Suniah, S. (2024). Analisis Respon Mahasiswa Calon Guru Terhadap Penerapan Metode Praktikum Pada Konsep Zat dan Perubahannya. *LENTERA*, 2(2), 4–4.
- Toharudin, U., Rahmiati, D., Fazriyah, N., & Hendrayana, S. (2023). *Literasi Sains: Pendekatan Pembelajaran Kontemporer-Rajawali Pers*. PT. RajaGrafindo Persada.
- Viclara, D. (2025). IMPLEMENTASI PEMBELAJARAN BERBASIS NATURE OF SCIENCE (NOS) DALAM KURIKULUM IPA. *Nusantara Hasana Journal*, 4(10), 166–171.
- WIDIARINI, P., RAPI, N. K., SUASTRA, I. W., & SUMA, K. (2025). STUDI PENDAHULUAN: PROBLEMATIKA PEMBELAJARAN FISIKA SMA. *SCIENCE: Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 5(1), 131–143.
- Wiratama, R., & Albina, M. (2025). KEBENARAN ILMIAH DALAM PERSPEKTIF FILSAFAT ILMU. *Cemara Education and Science*, 3(1).