



Fondasi Epistemologi Ilmu Pengetahuan: Tinjauan Studi Literatur Mengenai Postulat, Logika Probabilitas dan Konstruksi Hukum Sains

The Epistemological Foundations of Knowledge: A Literature Review on Postulates, Probability Logic and the Construction of Scientific Laws

Dewi Ayu Wulandari¹, Novendra Mulya Ardiansyah², Ramalia Ayuni Tirtha³, Savira El Nabila⁴, Kendid Mahmudi⁵, I Ketut Mahardika⁶, Habibah Khusna Baihaqi⁴

^{1,2,3}Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember

*Corresponding Author: E-mail: Kendidmahmudi.fkip@unej.ac.id

Artikel Review

Article History:

Received: 16 Dec, 2025

Revised: 18 Jan, 2026

Accepted: 24 Jan, 2026

Kata Kunci:

Teori, Hukum, Postulat, Probabilitas

Keywords:

Theory, Law, Postulate, Probability

DOI: [10.56338/jks.v9i1.10352](https://doi.org/10.56338/jks.v9i1.10352)

ABSTRAK

Artikel ini membahas secara mendalam tentang anatomi sains yang mencakup pengertian, teori, jenis-jenis teori, fungsi teori, perbedaan antara teori dan hukum, serta konsep postulat dan probabilitas dalam sains. Tujuan utama penelitian ini adalah memahami struktur dasar ilmu pengetahuan sebagai sistem yang dibangun berdasarkan teori dan hukum yang saling berkaitan. Metode penelitian yang digunakan berupa studi literatur dengan menelaah berbagai sumber ilmiah yang relevan. Hasil pembahasan menunjukkan bahwa anatomi sains merupakan kerangka konseptual yang menjelaskan bagaimana teori terbentuk, berfungsi, serta diuji melalui pendekatan ilmiah. Selain itu, konsep probabilitas berperan penting dalam memperkirakan hasil eksperimen yang bersifat tidak pasti. Artikel ini diharapkan dapat memberikan pemahaman komprehensif bagi mahasiswa dan peneliti mengenai struktur logis dan metodologis dalam sains.

ABSTRACT

This article provides an in-depth discussion of the anatomy of science, including its definition, theories, types of theories, functions of theories, the distinction between theories and laws, as well as the concepts of postulates and probability in science. The main objective of this study is to understand the basic structure of science as a system built upon interrelated theories and laws. The research method applied is a literature review, examining various relevant scientific sources. The findings show that the anatomy of science is a conceptual framework explaining how theories are formed, function, and tested through scientific approaches. Furthermore, the concept of probability plays a crucial role in predicting outcomes in uncertain experimental conditions. This paper aims to provide comprehensive insight for students and researchers regarding the logical and methodological structure within science.

PENDAHULUAN

Ilmu pengetahuan merupakan sistem penyusunan pengetahuan yang diperoleh melalui proses ilmiah yang sistematis, rasional, dan dapat diuji ulang. Menurut Chalmers (2013), ilmu bukan sekadar himpunan fakta, melainkan struktur pengetahuan yang dibangun melalui teori yang saling berhubungan, metode pengujian yang ketat, serta landasan epistemologis berupa postulat dan hukum ilmiah yang berfungsi sebagai kerangka utama dalam memahami fenomena alam (Psillos, 2012). Dalam konteks epistemologi, teori, hukum, postulat, dan probabilitas saling melengkapi untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai bagaimana pengetahuan ilmiah dibangun dan divalidasi (Hacking, 2001; Lakatos, 1978; Salmon, 1967).

Peneliti berpendapat bahwa pemahaman mendalam mengenai struktur epistemik ilmu pengetahuan sangat penting bagi mahasiswa sains, terutama mahasiswa fisika, karena kerangka berpikir ilmiah tidak dapat berdiri tanpa postulat sebagai asumsi dasar (Cartwright, 1983), hukum sebagai deskripsi fenomena, teori sebagai penjelasan komprehensif (Sneed, 1971), dan probabilitas sebagai alat analisis terhadap ketidakpastian (Suppe, 1977). Berdasarkan pandangan Kuhn (1996), perkembangan ilmu terjadi melalui pergeseran paradigma yang didasari perubahan asumsi fundamental, menunjukkan bahwa struktur epistemologis dalam sains bersifat dinamis dan sangat dipengaruhi oleh postulat yang diterima dalam suatu era ilmiah.

Mayoritas studi literatur menunjukkan bahwa teori dan hukum bukanlah hierarki (teori tidak berkembang menjadi hukum), tetapi merupakan entitas yang berbeda fungsi (McComas, 2004; Oreskes, 2019). Popper (2002) menjelaskan bahwa teori ilmiah memiliki status epistemik yang lebih dinamis karena selalu terbuka terhadap falsifikasi, berbeda dengan hukum ilmiah yang lebih bersifat deskriptif dan cenderung stabil. Selain itu, probabilitas terbukti memainkan peran penting dalam proses penelitian modern, terutama dalam memprediksi hasil eksperimen yang memiliki variabilitas tinggi (Gillies, 2000; Howson & Urbach, 2006). Sejumlah penelitian juga menegaskan bahwa pemahaman mahasiswa terhadap *Nature of Science* (NOS) masih lemah, terutama mengenai hubungan antara teori, postulat, dan hukum ilmiah (Abd-El-Khalick, 2002; Lederman, 2007; Clough, 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran postulat sebagai dasar epistemologis pembentukan teori ilmiah, mengidentifikasi hubungan struktural antara teori ilmiah dan hukum ilmiah dalam kerangka bangunan sains, menjelaskan peran probabilitas dalam mengelola ketidakpastian empiris pada penelitian ilmiah dan menyediakan pemahaman komprehensif mengenai fondasi epistemologi ilmu pengetahuan berdasarkan hasil studi literatur terbaru dan relevan.

Science is a system for organizing knowledge obtained through a systematic, rational, and repeatable scientific process. According to Chalmers (2013), science is not merely a collection of facts, but a structure of knowledge built through interrelated theories, rigorous testing methods, and an epistemological foundation in the form of postulates and scientific laws that serve as the main framework for understanding natural phenomena (Psillos, 2012). In the context of epistemology, theory, law, postulate, and probability complement each other to provide a comprehensive picture of how scientific knowledge is constructed and validated (Hacking, 2001; Lakatos, 1978; Salmon, 1967).

The researcher argues that a deep understanding of the epistemic structure of science is essential for science students, especially physics students, because the scientific framework cannot stand without postulates as basic assumptions (Cartwright, 1983), laws as descriptions of phenomena, theories as comprehensive explanations (Sneed, 1971), and probability as an analytical tool for uncertainty (Suppe, 1977). Based on Kuhn's view (1996), the development of science occurs through paradigm shifts rooted in changes in fundamental assumptions, indicating that the epistemological structure in science is dynamic and highly influenced by the accepted postulates in a particular scientific era.

The majority of literature studies indicate that theories and laws are not a hierarchy (theories do not evolve into laws), but are entities with different functions (McComas, 2004; Oreskes, 2019). Popper (2002) explained that scientific theories have a more dynamic epistemic status because they are

always open to falsification, unlike scientific laws which are more descriptive and tend to be stable. Furthermore, probability has proven to play a crucial role in the modern research process, especially in predicting experimental results with high variability (Gillies, 2000; Howson & Urbach, 2006). A number of studies also confirm that students' understanding of the Nature of Science (NOS) is still weak, particularly regarding the relationship between theories, postulates, and scientific laws (Abd-El-Khalick, 2002; Lederman, 2007; Clough, 2017).

This research aims to analyze the role of postulates as the epistemological basis for the formation of scientific theory, identify the structural relationship between scientific theory and scientific law within the framework of the structure of science, explain the role of probability in managing empirical uncertainty in scientific research, and provide a comprehensive understanding of the epistemological foundation of science based on the results of recent and relevant literature studies..

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Study* yang dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan. Tahap pertama adalah penentuan sumber data, yaitu pengumpulan literatur dari jurnal nasional dan internasional yang terindeks Google Scholar, DOAJ, Scopus, dan ResearchGate, serta buku-buku ilmiah yang relevan dan memiliki otoritas dalam bidang epistemologi ilmu pengetahuan. Tahap kedua adalah prosedur seleksi literatur yang dimulai dengan penelusuran awal menggunakan kata kunci *Studi Literatur*, *Postulat*, *Teori Sains*, *Hukum Sains*, *Teori Probabilitas*, dan *Epistemologi Sains*. Hasil penelusuran kemudian diseleksi melalui proses penyaringan judul dan abstrak untuk memastikan kesesuaiannya dengan fokus kajian, yaitu hubungan teori dan hukum, peran postulat sebagai dasar ilmiah, serta relevansi probabilitas dalam metodologi sains. Literatur yang lolos tahap penyaringan selanjutnya dievaluasi berdasarkan kredibilitas penulis, kualitas metodologi yang digunakan, serta kontribusinya terhadap kajian epistemologi sains. Tahap terakhir adalah analisis data menggunakan pendekatan *thematic synthesis*, yaitu metode pengelompokan temuan ke dalam tema-tema utama yang mencakup postulat sebagai fondasi filosofis, teori dan hukum sebagai konstruksi ilmiah, serta probabilitas sebagai alat logika untuk mengelola ketidakpastian dalam penelitian. Melalui tahapan ini, penelitian menghasilkan pemetaan komprehensif mengenai struktur epistemologis ilmu pengetahuan..

This research employs a Systematic Literature Study method, conducted through several interconnected stages. The first stage is data source determination, which involves collecting literature from national and international journals indexed in Google Scholar, DOAJ, Scopus, and ResearchGate, as well as relevant and authoritative scientific books in the field of the epistemology of science. The second stage is the literature selection procedure, which begins with an initial search using the keywords *Literature Study*, *Postulate*, *Science Theory*, *Scientific Law*, *Probability Theory*, and *Epistemology of Science*. The search results are then selected through a process of screening titles and abstracts to ensure their suitability with the study's focus: the relationship between theory and law, the role of postulates as a scientific basis, and the relevance of probability in scientific methodology. Literature that passes the screening stage is subsequently evaluated based on the author's credibility, the quality of the methodology used, and its contribution to the study of the epistemology of science. The final stage is data analysis using a thematic synthesis approach, a method of grouping findings into main themes that include postulates as philosophical foundations, theory and law as scientific constructs, and probability as a logical tool for managing uncertainty in research. Through these stages, the research yields a comprehensive mapping of the epistemological structure of science.

HASIL

Hasil studi literatur menunjukkan bahwa seluruh teori ilmiah selalu bertumpu pada postulat yang diterima tanpa pembuktian awal. Postulat berfungsi sebagai dasar konseptual yang memungkinkan pengembangan teori lebih lanjut. Contohnya adalah postulat pada relativitas khusus yang dikemukakan Einstein, aksioma-aksioma dalam geometri Euclid, serta prinsip kausalitas dalam fisika klasik. Semua contoh tersebut menegaskan bahwa postulat merupakan elemen fundamental yang menopang bangunan ilmiah dan memungkinkan para ilmuwan menyusun kerangka teori yang koheren.

Temuan lain memperlihatkan bahwa teori ilmiah memiliki peran paling komprehensif dalam menjelaskan fenomena alam. Literatur secara konsisten menyebutkan bahwa teori bukan hanya kumpulan konsep abstrak, tetapi sebuah sistem penjelasan yang mencakup model, prinsip, dan prediksi yang dapat diuji. Teori ilmiah memungkinkan peneliti memahami hubungan antar variabel, merumuskan hipotesis baru, dan mengembangkan penelitian lanjutan. Dengan demikian, teori menjadi pusat penalaran ilmiah yang dinamis dan terus berkembang.

Selain itu, ditemukan bahwa hukum sains berfungsi sebagai pola deskriptif yang merangkum keteraturan fenomena alam tanpa memberikan penjelasan mengenai penyebabnya. Hukum Newton, Hukum Ohm, dan Hukum Boyle merupakan contoh hukum ilmiah yang menyajikan hubungan matematis yang stabil dan dapat diprediksi. Keberadaan hukum ilmiah ini membantu ilmuwan memahami perilaku fenomena secara teratur, tetapi tidak menjawab pertanyaan filosofis tentang mengapa fenomena tersebut terjadi, karena hal itu merupakan ranah teori.

Hasil literatur juga menunjukkan bahwa probabilitas memiliki peran penting sebagai mekanisme pengelolaan ketidakpastian dalam penelitian ilmiah. Probabilitas diperlukan ketika variabel-variabel eksperimen tidak bersifat deterministik, seperti pada mekanika kuantum, statistik fisika, eksperimen bertingkat besar, dan analisis data modern. Dengan demikian, logika probabilitas memberikan dasar bagi interpretasi hasil eksperimen yang variatif dan memastikan validitas temuan ilmiah dalam situasi penuh ketidakpastian.

The literature study results indicate that all scientific theories invariably rest upon postulates accepted without initial proof. Postulates serve as the conceptual basis that enables the further development of a theory. Examples include the postulates in special relativity proposed by Einstein, the axioms in Euclidean geometry, and the principle of causality in classical physics. All these examples affirm that postulates are fundamental elements that support the scientific structure and allow scientists to construct a coherent theoretical framework.

Another finding reveals that scientific theory holds the most comprehensive role in explaining natural phenomena. The literature consistently mentions that a theory is not just a collection of abstract concepts, but a system of explanation that includes models, principles, and testable predictions. Scientific theory enables researchers to understand the relationships between variables, formulate new hypotheses, and develop further research. Thus, theory becomes the dynamic and ever-evolving center of scientific reasoning.

Furthermore, it was found that scientific law functions as a descriptive pattern that summarizes the regularity of natural phenomena without providing an explanation for their cause. Newton's Laws, Ohm's Law, and Boyle's Law are examples of scientific laws that present stable and predictable mathematical relationships. The existence of scientific laws helps scientists understand the behavior of phenomena regularly, but they do not answer the philosophical question of why those phenomena occur, as that is the domain of theory.

The literature results also show that probability plays a crucial role as a mechanism for managing uncertainty in scientific research. Probability is necessary when experimental variables are not deterministic, such as in quantum mechanics, statistical physics, large-scale experiments, and modern data analysis. Thus, the logic of probability provides a basis for interpreting varied experimental results and ensures the validity of scientific findings in situations full of uncertainty.

DISKUSI

Analisis hasil menunjukkan bahwa postulat memainkan peran yang sangat sentral dalam pembentukan kerangka ilmiah. Postulat bukan hanya asumsi dasar, tetapi juga fondasi filosofis yang menentukan bagaimana teori ilmiah dibangun. Tanpa kehadiran postulat, tidak ada titik awal yang jelas untuk mengembangkan teori. Misalnya, dalam fisika relativitas, dua postulat Einstein tidak hanya menjadi dasar matematis tetapi juga mengubah cara pandang ilmuwan terhadap ruang, waktu, dan gerak. Hal ini membuktikan bahwa postulat menentukan arah perkembangan ilmu pengetahuan dan bahkan dapat menggeser paradigma ilmiah.

Hubungan antara teori dan hukum sains juga menjadi pusat pembahasan dalam literatur yang ditelaah. Teori dan hukum tidak berdiri dalam hubungan hierarkis, melainkan memiliki fungsi yang berbeda. Teori menjelaskan mengapa suatu fenomena terjadi, sedangkan hukum merumuskan bagaimana fenomena tersebut terjadi dalam pola yang dapat diukur. Sayangnya, banyak mahasiswa dan bahkan guru sains memahami teori sebagai "tahap awal" menuju hukum, padahal teori memiliki kapasitas penjelasan yang jauh lebih kaya dan kompleks. Ketidapahaman ini dapat menyebabkan miskonsepsi epistemologis yang berdampak pada kualitas pembelajaran sains.

Probabilitas juga terbukti memiliki peran yang sangat signifikan dalam metodologi penelitian modern. Dengan perkembangan ilmu yang melibatkan data dalam jumlah besar dan variabilitas eksperimen yang tinggi, probabilitas menjadi alat utama dalam menentukan validitas empiris. Dalam banyak penelitian, probabilitas digunakan untuk membedakan fenomena yang terjadi secara acak dengan fenomena yang benar-benar mencerminkan pola ilmiah. Tanpa probabilitas, ilmuwan tidak dapat memastikan apakah hasil suatu eksperimen layak dijadikan dasar teori atau hanya merupakan fluktuasi acak.

Keterkaitan antara postulat, teori, hukum, dan probabilitas menunjukkan bahwa epistemologi sains bersifat integratif. Postulat menyediakan pijakan konseptual, teori memberikan sistem penjelasan, hukum mendeskripsikan keteraturan fenomena, dan probabilitas memastikan bahwa penjelasan tersebut sah secara empiris. Keempat elemen ini bekerja secara harmonis untuk membangun struktur pengetahuan ilmiah yang lengkap. Tanpa salah satu dari unsur tersebut, bangunan sains akan kehilangan bagian penting dari kerangka epistemiknya. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif mengenai hubungan keempatnya merupakan syarat utama untuk mengembangkan literasi sains yang kuat di kalangan mahasiswa, guru, maupun peneliti.

The literature study results indicate that all scientific theories invariably rest upon postulates accepted without initial proof. Postulates serve as the conceptual basis that enables the further development of a theory. Examples include the postulates in special relativity proposed by Einstein, the axioms in Euclidean geometry, and the principle of causality in classical physics. All these examples affirm that postulates are fundamental elements that support the scientific structure and allow scientists to construct a coherent theoretical framework.

Another finding reveals that scientific theory holds the most comprehensive role in explaining natural phenomena. The literature consistently mentions that a theory is not just a collection of abstract concepts, but a system of explanation that includes models, principles, and testable predictions. Scientific theory enables researchers to understand the relationships between variables, formulate new hypotheses, and develop further research. Thus, theory becomes the dynamic and ever-evolving center of scientific reasoning.

Furthermore, it was found that scientific law functions as a descriptive pattern that summarizes the regularity of natural phenomena without providing an explanation for their cause. Newton's Laws, Ohm's Law, and Boyle's Law are examples of scientific laws that present stable and predictable mathematical relationships. The existence of scientific laws helps scientists understand the behavior of phenomena regularly, but they do not answer the philosophical question of why those phenomena occur,

as that is the domain of theory.

The literature results also show that probability plays a crucial role as a mechanism for managing uncertainty in scientific research. Probability is necessary when experimental variables are not deterministic, such as in quantum mechanics, statistical physics, large-scale experiments, and modern data analysis. Thus, the logic of probability provides a basis for interpreting varied experimental results and ensures the validity of scientific findings in situations full of uncertainty.

KESIMPULAN

Studi literatur ini menyimpulkan bahwa postulat merupakan fondasi epistemologis dari teori ilmiah; teori memberikan penjelasan komprehensif, hukum ilmiah menggambarkan pola fenomena, dan probabilitas mengatur ketidakpastian empiris. Keempatnya membentuk sistem pengetahuan ilmiah yang utuh dan rasional.

This literature study concludes that postulates constitute the epistemological foundation of scientific theory, theory provides comprehensive explanations, scientific laws describe patterns of phenomena, and probability manages empirical uncertainty. These four elements form a complete and rational system of scientific knowledge.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar pendidikan mengenai epistemologi sains diperkuat pada tingkat perguruan tinggi, khususnya dalam program studi pendidikan sains dan fisika, sehingga mahasiswa memiliki pemahaman yang utuh mengenai struktur dan dasar filosofis ilmu pengetahuan. Selain itu, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengembangkan model pembelajaran yang lebih efektif dalam menjelaskan hubungan antara teori dan hukum secara non-hierarkis, sehingga miskonsepsi yang selama ini muncul dalam proses pembelajaran dapat diminimalisasi. Pembelajaran mengenai probabilitas juga perlu diperkenalkan secara lebih komprehensif dalam konteks sains modern, terutama karena probabilitas memiliki peran penting dalam mengelola ketidakpastian empiris dan mendukung analisis data dalam penelitian ilmiah kontemporer.

Based on the research findings, it is recommended that education regarding the epistemology of science be strengthened at the university level, especially in science and physics education programs, so that students have a complete understanding of the structure and philosophical foundation of scientific knowledge. Furthermore, further research is needed to develop more effective learning models to explain the relationship between theory and law in a non-hierarchical way, thereby minimizing the misconceptions that frequently arise in the learning process. The teaching of probability also needs to be introduced more comprehensively within the context of modern science, particularly because probability plays an important role in managing empirical uncertainty and supporting data analysis in contemporary scientific research.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-El-Khalick, F. (2002). *The development of a view of nature of science instrument and its implications for K-12 science teaching*. Unpublished doctoral dissertation, Oregon State University.
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019, 1–14.
- Aznur, B. S., Nisa, S. K., & Septriono, W. A. (2022). Agen Biologis Potensial untuk Bioremediasi Logam Berat. *Jurnal Maiyah*, 1(4), 186–198.
- Buyck, P.-J. D., Hulle, S. W. H. V., Dumoulin, A., & Rousseau, D. P. L. (2021). Roof Runoff

- Contamination: A Review on Pollutant Nature, Material Leaching and Deposition. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 20, 549–606.
- Cartwright, N. (1983). *How the Laws of Physics Lie*. Oxford University Press.
- Chalmers, A. F. (2013). *What Is This Thing Called Science?* Open University Press.
- Clough, M. P. (2017). The Nature of Science: An Important and Complex Content Domain. In M. P. Clough (Ed.), *Teaching the Nature of Science: Perspectives & Approaches*. Springer.
- Dhaniah, S. G., Sari, W., Ikmawati, & Kurniawan. (2024). Hakikat Sains: Pengertian, Fungsi, dan Penerapan dalam Proses Pembelajaran. *Populer: Jurnal Penelitian Mahasiswa*, 3(4), 37–45.
- Hadi, S. (2017). *Dasar-Dasar Metodologi Penelitian Ilmiah*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Hacking, I. (2001). *An Introduction to Probability and Inductive Logic*. Cambridge University Press.
- Howson, C., & Urbach, P. (2006). *Scientific Reasoning: The Bayesian Approach* (3rd ed.). Open Court.
- Irwan, Perdana, F. W., Latuheru, P. M., Khairani, M., & Kartini, S. (2021). Pemikiran Tokoh Pakar Hukum: Lima Paradigma. *Jurnal Indonesia Sosial Sains*, 2(12), 1–10.
- Jain, J., & Luaran, J. E. (2020). Conceptualising Scientific Theory–Law Relationship Among Pre-service Teachers with Different Academic Abilities in Science. *Asian Journal of University Education*, 16(3), 1–15.
- Jiang, X., Liu, Y., Yin, X., Deng, Z., Zhang, S., & Ma, C. (2023). Efficient Removal of Chromium by a Novel Biochar–Microalga Complex: Mechanism and Performance. *Environmental Technology and Innovation*, 31.
- Jyoti, Singh, S., Das, S., & Srivastava, S. (2023). Removal of Toxic Hexavalent Chromium by Zinc Oxide Nanoparticles, Chitosan, Chitin, and Zinc–Chitosan Nanobiocomposite. *Environmental Technology and Innovation*, 32.
- Khastini, R. O., Zahranie, L. R., Rozma, R. A., & Saputri, Y. A. (2022). Peranan Bakteri Pendegradasi Senyawa Pencemar Lingkungan melalui Proses Bioremediasi. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 10(1), 345–360.
- Kuhn, T. S. (1996). *The Structure of Scientific Revolutions* (3rd ed.). University of Chicago Press.
- Lakatos, I. (1978). *The Methodology of Scientific Research Programmes: Philosophical Papers Vol. 1*. Cambridge University Press.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831–880). Lawrence Erlbaum Associates.
- Erlbaum ALestari, E. S., Hadi, Y. S., & Pari, G. (2019). Pemanfaatan Arang Aktif dan Bakteri Escherichia coli pada Pengolahan Limbah Kromium. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 37(2), 105–122.
- Mahardika, I. K., Sari, E., Handono, S., Aqilla, S. L., Faruqi, R., Ramadani, A., & Jufri, Z. A. (2023). Hakikat dan Fungsi Sains dalam Pembelajaran Fisika. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 3(6), 3955–3964.
- McComas, W. F. (2004). Keys to science literacy: Definitions and distinction of science and the nature of science. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies* (pp. 1–28). Kluwer Academic Publishers.
- Meena, R. A., Sathishkumar, P., Ameen, F., Yusoff, A. R., & Gu, F. L. (2018). Heavy Metal Pollution in Immobile and Mobile Components of Lentic Ecosystems: A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(5), 4134–4148.
- Murdani, E. (2020). Hakikat Fisika dan Keterampilan Proses Sains. *Jurnal Filsafat Indonesia*, 3(3), 72–80.

- Oreskes, N. (2019). *Why Trust Science?* Princeton University Press.
- Popper, K. R. (2002). *The Logic of Scientific Discovery*. Routledge.
- Psillos, S. (2012). *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*. Routledge.
- Ramraj, S. M., Kubaib, A., Imran, P. M., & Thirupathy, M. K. (2023). Utilizing *Sida Acuta* Leaves for Low-Cost Adsorption of Chromium (VI) Heavy Metal. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 11.
- Ridho, S., & Rusda, D. (2024). Analisis Preferensi Konsumen Menggunakan Algoritma C4.5 dan Naive Bayes. *Jurnal Teknik Elektro*, 24(1), 66–77.
- Salmon, W. C. (1967). *The Foundations of Scientific Inference*. University of Pittsburgh Press.
- Siregar, V. Y. (2022). Sains dalam Perspektif Filsafat. *International Journal of Science Research (IJSR)*, 1(4), 247–254.
- Situngkir, J., & Nugrahaningsih, K. (2021). Pembelajaran Teori Probabilitas Menggunakan R. *Mathematics Education Journal*, 2(1), 111–120.
- Sneed, J. D. (1971). *The Logical Structure of Mathematical Physics*. D. Reidel Publishing Company.
- Susanti, S. (2023). *Buku Ajar Toksikologi Pangan*. Semarang: UNDIP Press.
- Suppe, F. (1977). *The Structure of Scientific Theories* (2nd ed.). University of Illinois Press.
- Tilaar, W., Mandang, J. P., & Pinaria, A. (2022). Analisis Sulforafan pada Beberapa Fase Pertumbuhan Brassicaceae. *Eugenia*, 28(1).
- Winda, S., Ghina, D. S., Ikawati, I., & Kurniawan. (2024). Hakikat Sains dalam Proses Pembelajaran. *Jurnal Penelitian Mahasiswa*, 3(4), 37–45.
- Yeşilyurt, S. (2023). Phytoremediation and Brassica Family: Removal of Chromium, Cadmium, and Lead Using Broccoli. *Results in Chemistry*, 6, 1–10.
- Zou, H., Hu, E., Yang, S., Gong, L., & He, F. (2019). Chromium (VI) Removal by Mechanochemically Sulfidated Zero Valent Iron and Its Effect on Dechlorination Processes. *Science of the Total Environment*, 650, 419–426.