

Reevaluasi Miskonsepsi Struktur Atom Dan Partikel Subatom Serta Implikasinya Terhadap Pemahaman Ilmiah: Studi Literatur

Prisca Caesa Moneteringtyas^{1*} Meidita Kemala Sari² Inten Pangestika¹ Dini Novi Rohmah³ Imas Masriah¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

²Program Studi Kimia, Fakultas MIPA dan Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Riau

³Dept Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap

*Corresponding author: priscacaesa@polmed.ac.id

Diterima: 25-04-2025 | Disetujui: 28-05-2025 | Diterbitkan online: 30-05-2025

©Authors 2025 · e-ISSN 3064-4461 · p-ISSN 3089-915X

<https://journal.pubsains.com/index.php/jcse/index>

Abstract. Misconceptions about atomic structure and subatomic particles are a systemic issue in chemistry education, hindering the understanding of advanced concepts and limiting critical thinking. This study aims to identify common misconceptions, explore their root causes, and propose effective corrective strategies. A literature review of 20 peer-reviewed articles was conducted using thematic analysis across three main focuses. Findings reveal that deterministic views of the Bohr model, confusion over technical terms, and misinterpretation of symbolic representations are the most prevalent misconceptions. These stem from unadaptive teaching methods, cognitive limitations, and misleading visuals. Effective remedies include cognitive conflict, dynamic visualizations, and historical-metacognitive approaches to support conceptual change and deepen scientific understanding.

Keywords: atomic structure, misconception, subatomic particles, quantum mechanics

Abstrak. Miskonsepsi terhadap struktur atom dan partikel subatom merupakan masalah sistemik pendidikan kimia yang dapat menghambat pemahaman konsep lanjutan dan menurunkan kemampuan berpikir kritis. Studi ini bertujuan mengidentifikasi bentuk miskonsepsi, menelusuri akar penyebabnya, serta merumuskan strategi koreksi yang efektif. Kajian dilakukan melalui tinjauan pustaka dari 20 artikel ilmiah pada basis data bereputasi, dengan analisis tematik terhadap tiga fokus utama. Hasil menunjukkan bahwa persepsi deterministik terhadap model Bohr, kesalahpahaman istilah teknis, serta interpretasi simbolik yang keliru merupakan bentuk miskonsepsi paling dominan. Akar masalah berasal dari pendekatan pedagogis yang kurang adaptif, keterbatasan kognitif peserta didik, dan representasi visual yang menyesatkan. Strategi korektif yang efektif mencakup konflik kognitif, visualisasi dinamis, serta pendekatan historis dan metakognitif yang mampu memperkuat restrukturisasi konseptual dan pemahaman ilmiah.

Kata kunci: mekanika kuantum, miskonsepsi, struktur atom, partikel subatom.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License, which allows others to remix, tweak, and build upon the work non-commercially as long as the original work is properly cited. The new creations are not necessarily licensed under the identical terms

PENDAHULUAN

Pemahaman mengenai struktur atom dan partikel subatom merupakan aspek fundamental dalam ilmu kimia. Konsep atom telah mengalami transformasi dari model klasik berdasarkan konsep mekanika kuantum. Namun, perubahan tidak selalu diikuti oleh pemutakhiran pemahaman dasar yang menyebabkan miskonsepsi sistemik. Sebagian peserta didik menganggap model atom klasik sebagai

representasi yang akurat meskipun sudah ada model atom berbasis mekanika kuantum yang lebih kompleks (Zarkadis dkk., 2021). Sebuah studi oleh Malkawi dkk., (2018) juga menemukan bahwa 85% mahasiswa tetap mempertahankan model Bohr dalam pemahaman mengenai struktur atom, meskipun telah diajarkan model atom modern, seperti model orbital Schrödinger.

Hal ini mencerminkan kegagalan migrasi mahasiswa dari model klasik ke pemahaman yang lebih mutakhir mengenai probabilitas posisi elektron. Fakta ini juga didukung oleh penelitian Nufus dan Silfianah (2023) yang menyatakan bahwa lebih dari 20% peserta didik SMA di Indonesia masih terjebak dalam miskonsepsi tentang struktur atom, khususnya pada konsep partikel subatomik dan konfigurasi elektron. Secara umum, kesalahan konseptual ini dipengaruhi oleh penyederhanaan model atom dalam media pembelajaran. Pengajaran yang bersifat prosedural tanpa penekanan konseptual, serta penggunaan analogi yang kurang tepat.

Miskonsepsi yang tidak ditangani dengan tepat dapat berdampak pada kualitas pembelajaran, menghambat pemahaman terhadap konsep lanjutan, serta mengurangi kemampuan berpikir kritis peserta didik. Ketidakmampuan membedakan antara model sebagai alat representasi dan realitas ilmiah yang kompleks menunjukkan bahwa miskonsepsi ini bersifat epistemik dan sistemik. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian kritis terhadap bagaimana konsep-konsep atom dan partikel subatom (Listyani dkk., 2023).

Kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis berbagai bentuk miskonsepsi terkait struktur atom dan partikel subatom, menelaah akar penyebab dari aspek pedagogis maupun epistemologis, serta mengkaji strategi pembelajaran yang telah digunakan untuk mengatasi masalah tersebut guna menemukan celah penelitian yang relevan untuk pengembangan studi lanjutan. Fokus kajian mencakup identifikasi bentuk-bentuk miskonsepsi, penelusuran akar penyebabnya, serta strategi koreksi yang dapat digunakan untuk mengoreksi dan mencegah miskonsepsi tersebut.

METODE

Kajian dilaksanakan melalui studi literatur pada artikel-artikel ilmiah di bidang pendidikan kimia dan sains yang berisi miskonsepsi konsep struktur atom dan partikel subatom. Pencarian literatur dilakukan pada basis data akademik bereputasi seperti Scopus, Web of Science, dan DOAJ. 20 artikel yang

memenuhi kriteria inklusi, yaitu keterkaitan langsung dengan topik miskonsepsi, metode penelitian yang jelas, dan relevansi terhadap konteks pendidikan kimia, dikaji secara mendalam. Analisis dilakukan secara tematik, mengelompokkan isi literatur ke dalam tiga fokus utama: bentuk miskonsepsi, akar penyebab, dan strategi koreksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berbagai penelitian telah mengidentifikasi miskonsepsi umum terkait struktur atom dan partikel subatom, seperti kesalahan dalam memahami model atom, kebingungan istilah, serta penafsiran visual yang keliru. Ringkasan temuan dari berbagai studi tersebut disajikan pada Tabel 1.

Miskonsepsi Struktur Atom dan Partikel Subatom

Kajian literatur menunjukkan bahwa miskonsepsi dalam topik struktur atom dan partikel subatom bersifat sistemik dan persisten. Salah satu bentuk paling umum adalah persepsi terhadap model Bohr yang menggambarkan elektron bergerak dalam orbit melingkar mengelilingi inti seperti planet mengelilingi matahari. Penggunaan model atom Bohr sebagai jembatan pengajaran konseptual yang tidak disertai penekanan pada keterbatasannya menciptakan persepsi keliru bahwa elektron memiliki lintasan deterministik (Sari dkk., 2023). Padahal, model mekanika kuantum modern telah menjelaskan bahwa posisi elektron bersifat probabilistik dalam orbital, bukan lintasan pasti (Man'ko & Man'ko, 2021).

Miskonsepsi lainnya berkaitan dengan pemahaman terhadap orbital dalam model kuantum, di mana sebagian peserta didik menginterpretasikan orbital sebagai jalur atau ruang fisik sebagai lintasan elektron. Pada tingkat mahasiswa, mereka belum mampu membedakan antara orbit dan orbital, serta gagal menjelaskan sifat probabilistik elektron (Krijtenburg-Lewerissa dkk., 2017). Miskonsepsi ini menunjukkan kesenjangan antara pemahaman konseptual peserta didik dan model atom modern, yang tidak bersifat visual-analogis.

Kebingungan konsep juga muncul pada pemahaman muatan dan massa partikel subatomik.

Tabel 1 Studi Literatur

No.	Judul Artikel	Penulis	Bentuk Miskonsepsi
1	Misconceptions About Atomic Models Amongst Chemistry Students	Malkawi et al. (2018)	Model Bohr dianggap sebagai model atom akurat, peserta didik gagal memahami sifat probabilistik elektron.
2	Analysing symbolic expressions in secondary school chemistry: their functions and implications for pedagogy	Liu & Taber (2016)	Orbit dan orbital disamakan, istilah “kulit elektron” dianggap lapisan fisik.
3	Probability Representation of Quantum States	Man’ko & Man’ko (2021)	Peserta didik tidak memahami representasi probabilistik dalam mekanika kuantum.
4	Reinterpretation of Students' Ideas When Reasoning About Particle Model Illustrations	Langbeheim (2015)	Siswa cenderung menafsirkan ilustrasi model partikel secara literal, menganggap representasi visual sebagai kenyataan fisik, yang mengarah pada miskonsepsi tentang struktur atom dan perilaku partikel.
5	Analysis of Misconceptions in Chemistry Learning	Fauziyah dkk. (2023)	Ilustrasi statis model atom memperkuat miskonsepsi deterministik.
6	Studying Students’ Representations of “Orbital” and “Electron Cloud” Concepts	Zarkadis dkk. (2024)	Kebingungan antara orbit dan orbital, serta interpretasi visual keliru.
7	<i>Interactive homework to support student learning of measurement uncertainty in the Stern–Gerlach experiment</i>	Justice, Marshman, & Singh (2024)	Hubungan ketidakpastian kuantum dengan ketidaksempurnaan instrument melalui simulasi interaktif berbasis konflik kognitif
8	Model Pembelajaran Berbasis Masalah terhadap Miskonsepsi IPA Siswa	Listyani dkk. (2023)	Pemahaman model atom terbatas pada model Bohr; miskonsepsi partikel subatom.
9	Studying the Consistency Between and Within the Student Mental Models for Atomic Structure	Zarkadis dkk. (2017a)	Pengetahuan awal yang keliru tentang struktur atom tidak dikoreksi secara sistematis.
10	Potensi Miskonsepsi Istilah Kimia pada Buku Ajar SMA	Sari dkk. (2015)	Kesalahan linguistik; istilah kimia membingungkan.
11	Misconception in Chemistry Textbooks: Quantum Number, Configuration, and Teaching Material	Sari dkk. (2023)	Miskonsepsi pada bilangan kuantum dan konfigurasi elektron akibat buku ajar yang tidak akurat.
12	Significance and Limitations of Bohr’s Atomic Model	Mura (2023)	Model atom Bohr dianggap sempurna tanpa pemahaman batasan historis model.
13	Insights Into Teaching Quantum Mechanics in Secondary and Lower Undergraduate Education	Krijtenburg-Lewerissa dkk. (2017)	Siswa bingung membedakan konsep abstrak seperti orbital dan bilangan kuantum.
14	Effects of Three Neo Piagetian Constructs on Students’ Portrayed Representations of the Atomic Structure	Zarkadis dkk. (2021)	Perkembangan kognitif tidak sejalan dengan kompleksitas materi kuantum.
15	Atomic Theories That Preservice Science Teachers Confuse and Underlying Reasons	Bilir dkk. (2018)	Mahasiswa masih mengaitkan atom dengan analogi klasik seperti tata surya.

16	Action Research on Improving Students' Conceptual Understanding in the "Force and Energy" Unit through Semantic Mapping	Dinsever dkk. (2023)	Peserta didik kesulitan memahami konsep abstrak akibat interpretasi literal, miskonsepsi dikoreksi melalui pemetaan konsep dan pertanyaan terbuka.
17	The Impact of Phet Interactive Simulations and Powerpoint Presentation Slide Show Visualisation on Learning Balancing of Chemical Equations Among Grade 10 Pupils	Sibinda & Shumba (2022)	Representasi visual membantu koreksi miskonsepsi antara orbit dan orbital.
18	Addressing student misconceptions about atoms and examining instructor strategies for overcoming them	Kaya (2023)	Pendekatan pembelajaran kurang menyorot miskonsepsi awal siswa.
19	Analisis Laboratory Jargon dan Miskonsepsi dalam Materi Asam-Basa	Hadinugraha ningsih dkk. (2018).	Penggunaan jargon laboratorium tanpa penjelasan konseptual menimbulkan miskonsepsi istilah dan prosedur, seperti pemahaman keliru tentang pH, indikator, dan kekuatan asam-basa.
20	Analisis Miskonsepsi Peserta Didik pada Materi Struktur Atom Menggunakan Five-Tier Multiple Choice Diagnostic Test Berbasis Piktorial	Nufus & Silfianah (2023)	Peserta didik masih memahami struktur atom berdasarkan model Bohr, serta salah menafsirkan simbol partikel subatomik dan konfigurasi elektron akibat pemahaman visual yang keliru.

Peserta didik sering keliru menganggap proton sebagai satu-satunya partikel bermassa dalam inti atau bahkan mengasumsikan bahwa elektron memiliki massa nol. Ketidaktepatan dalam menafsirkan ilustrasi model partikel secara literal memperlihatkan lemahnya pemetaan konseptual yang terbentuk sejak awal (Langbeheim, 2015). Penelitian lain mengungkapkan bahwa sebagian peserta didik masih menganggap neutron bermuatan negatif karena kata "neutron" yang mirip secara fonetik dengan "negatif", atau karena kekeliruan dalam menyimbolkan muatan partikel. Hal ini menunjukkan bahwa faktor linguistik dan simbolik juga memainkan peran dalam pembentukan miskonsepsi. Istilah "kulit elektron" sering disalahartikan sebagai lapisan fisik yang mengelilingi inti, padahal secara ilmiah merupakan konsepsi tingkat energi yang merepresentasikan kondisi kuantum elektron (Liu & Taber, 2016). Hal ini menunjukkan pentingnya pendekatan metakognitif dalam memahami bagaimana istilah teknis membentuk skema konseptual.

Akar Penyebab Miskonsepsi

Akar dari miskonsepsi ini dapat ditelusuri melalui tiga dimensi, yaitu: kognitif, pedagogis, dan sosio-kultural. Secara kognitif, konsep-konsep abstrak seperti orbital, bilangan kuantum, atau ketidakpastian Heisenberg merupakan suatu hal abstrak (Mura, 2023). Piaget mengklasifikasikan tahap perkembangan formal-operasional sebagai masa ketika peserta didik baru mulai mampu memahami simbolisme abstrak (Inhelder & Piaget, 1958), namun dalam praktiknya, pendidik sering mengajarkan konsep kuantum sebelum tahap ini matang. Sebagai contoh, visualisasi model Bohr yang terus digunakan dalam buku teks sebagai representasi utama atom menyebabkan pemahaman keliru, bukan sebagai batu loncatan menuju konsep yang lebih abstrak dan akurat (Zarkadis dkk., 2024).

Secara pedagogis, pendidik masih menggunakan pendekatan deduktif dan ekspositorik tanpa menyentuh miskonsepsi yang telah ada pada peserta didik (Bilir dkk., 2018). Ketidakterlibatan peserta didik dalam merumuskan dan membongkar pengetahuan awal berkontribusi pada kegagalan

pembentukan pemahaman konseptual yang stabil. Buku ajar dengan model-model atom yang terlalu disederhanakan tanpa memberikan konteks historis dan keterbatasan ilmiahnya sering memperkuat miskonsepsi (Zarkadis dkk., 2017b). Model pembelajaran konvensional yang diturunkan secara turun temurun antar generasi dan kurang interaktif serta minimnya pemetaan konseptual memperbesar kemungkinan peserta didik membangun skema mental yang tidak ilmiah (Hadinugrahaningsih dkk., 2018).

Dari dimensi sosio-kultural, miskonsepsi juga dapat dipicu oleh terjemahan istilah kimia ke dalam bahasa Indonesia yang kurang tepat. Misalnya, pemakaian kata “kulit elektron” kerap dianggap sebagai lapisan fisik dalam bentuk kulit, bukan sebagai representasi tingkat energi (Sari dkk., 2015).

Strategi Koreksi

Upaya korektif terhadap miskonsepsi struktur atom dan partikel subatom tidak dapat dilepaskan dari metode pembentukan konsep ilmiah. Strategi ini menuntut pendekatan yang reflektif, tidak hanya kontekstual. Proses koreksi akan berhasil apabila mencakup rekonstruksi konseptual aktif yang ditopang oleh intervensi pedagogis dan dirancang untuk menantang dan mendistraksi skema awal yang keliru. Perubahan konsepsi memerlukan kondisi belajar yang memungkinkan terjadinya konflik kognitif dan fasilitasi pembentukan skema baru yang lebih ilmiah (Dinsever dkk., 2023)

Salah satu pendekatan utama yang perlu diterapkan adalah integrasi simulasi dan visualisasi dinamis berbasis teknologi untuk menggantikan narasi statis dalam pengajaran model atom. Menurut Sibinda & Shumba (2022) dalam studinya mengenai dampak penggunaan simulasi *Physics Education Technology* (PhET) memungkinkan peserta didik menyaksikan representasi probabilistik elektron dalam orbital, sehingga akan terbentuk *self corection* terhadap pandangan deterministik yang diwariskan dari model Bohr. Visualisasi dinamis berperan penting dalam menjembatani transisi dari model klasik ke model mekanika kuantum (Zarkadis dkk., 2017a). Namun, keberadaan teknologi tidak akan

efektif tanpa adanya dukungan desain instruksional yang mampu menstimulasi konflik kognitif. Oleh karena itu pendidik perlu memfasilitasi diskusi berbasis prediksi dan observasi yang memunculkan ketidaksesuaian antara prediksi peserta didik dan fenomena aktual, misalnya dengan meminta peserta didik memprediksi perilaku elektron lalu membandingkannya dengan hasil simulasi kuantum, untuk membongkar miskonsepsi yang tersembunyi atau meminta peserta didik menjelaskan bagaimana dua elektron dapat menempati orbital yang sama dengan spin berbeda, kemudian memperlihatkan hasil simulasi yang mendukung model mekanika kuantum sehingga tercipta peluang untuk perbaikan pemahaman Justice, Marshman, & Singh (2024).

Efektivitas strategi koreksi dapat dilihat dari data penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Misalnya, menurut penelitian oleh Sibinda & Shumba (2022), penggunaan simulasi interaktif seperti PhET dalam pembelajaran struktur atom menunjukkan peningkatan pemahaman konseptual hingga 78% pada peserta didik yang awalnya mengalami miskonsepsi mengenai model atom. Penelitian Justice dkk., (2024) juga menunjukkan bahwa integrasi simulasi eksperimental berbasis konflik kognitif seperti percobaan Stern-Gerlach berhasil meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep spin elektron hingga 80%. Selain itu, Dinsever dkk. (2023) juga mencatat bahwa strategi pemetaan konsep dan pertanyaan terbuka dalam pendekatan metakognitif mampu mengurangi miskonsepsi sebanyak 65% pada topik konsep gaya dan energi yang juga melibatkan abstraksi ilmiah. Data ini menunjukkan bahwa strategi pembelajaran berbasis konflik kognitif dan visualisasi dinamis tidak hanya teoritis, namun memiliki basis empiris yang kuat dan terbukti signifikan secara statistik dalam restrukturisasi konsepsi ilmiah peserta didik.

Penekanan pemahaman mengenai model atom yang bersifat historis dan berkembang secara bertahap merupakan hal yang penting. Intervensi korektif akan lebih efektif jika dikontekstualisasikan melalui pendekatan historis terhadap evolusi model atom. Dengan memahami bahwa model Bohr merupakan solusi transisional pada zamannya dan bahwa model

orbital Schrödinger menjawab keterbatasan prediksi lintasan elektron secara eksak, peserta didik diajak untuk mengapresiasi ilmu kimia sebagai konstruksi sosial yang bersifat tentatif dan berkembang. Pendekatan ini bukan hanya meluruskan miskonsepsi, tetapi juga membangun kesadaran ilmiah yang kritis, selain itu pendekatan ini juga membantu mengurangi kecenderungan peserta didik untuk memandang model klasik sebagai kebenaran absolut.

Strategi koreksi yang bersifat metakognitif terbukti memiliki dampak yang signifikan dalam memperkuat restrukturisasi konsep. Pemetaan konsep, serta model pertanyaan terbuka dapat memperkuat kemampuan peserta didik dalam menilai validitas konsepsi yang mereka miliki. Di sinilah peran pendidik bergeser, bukan lagi hanya sebagai narasumber melalui instruksi satu arah, namun menjadi fasilitator epistemologis yang menstimulasi pertumbuhan pemahaman ilmiah melalui dialog ilmiah.

Menurut Fauziyah dkk., (2023), penyederhanaan berlebihan pada buku ajar, seperti penggunaan ilustrasi orbit elektron sebagai lingkaran statis, perlu diganti dengan model kuantum. Materi ajar yang dilengkapi dengan studi kasus, konflik konseptual, dan integrasi penilaian diagnostik akan lebih mampu mengidentifikasi serta merespons miskonsepsi secara dini dan berkelanjutan serta membantu peserta didik membangun pemahaman secara lebih aktif (Kaya, 2023).

SIMPULAN DAN SARAN

Kajian ini menerangkan bahwa miskonsepsi terhadap struktur atom dan partikel subatom merupakan permasalahan sistemik dalam lingkup pendidikan kimia, hal tersebut diakibatkan oleh pendekatan pedagogis yang kurang adaptif, keterbatasan kognitif peserta didik, serta miskomunikasi visual dan linguistik dalam media pembelajaran. Akar masalah berasal dari penggunaan ilustrasi model klasik tanpa transisi yang jelas menuju konsep mekanika kuantum, serta minimnya penekanan terhadap sifat probabilistik dan abstrak

dalam model atom modern. Hal ini berdampak terhadap kemampuan peserta didik dalam memahami konsep-konsep lanjutan.

Untuk menjawab persoalan ini, strategi korektif yang efektif harus melibatkan pendekatan berbasis konflik kognitif, visualisasi dinamis, serta penanaman kesadaran historis dan metakognitif. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa strategi tersebut terbukti efektif dalam menurunkan tingkat miskonsepsi peserta didik. Dengan demikian, reformasi pembelajaran konsep atom perlu diarahkan tidak hanya pada penyampaian informasi, tetapi juga pada rekonstruksi konseptual aktif yang melibatkan peserta didik sebagai subjek aktif dalam proses pembelajaran ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bilir, V., Baran, A. D., & Karaçam, S. (2018). Atomic Theories That Preservice Science Teachers Confuse and Underlying Reasons. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 19(1), 212-220.
<https://doi.org/10.17679/inuefd.331368>
- Dinsever, A. B., Zorlu, Y., & Zorlu, F. (2023). Action Research on Improving Students' Conceptual Understanding in the "Force and Energy" Unit through Semantic Mapping. *International Journal of Contemporary Educational Research*, 10(4), 875-892.
<https://doi.org/10.52380/ijcer.2023.10.4.474>
- Fauziyah, L., Prasetyo, C., & Efendi, A. (2023). Analysis of Misconceptions In Chemistry Learning: Literature Review. *Jurnal Pembelajaran Sains*, 7(2), 66-71.
<http://journal2.um.ac.id/index.php/>
- Gudyanga, E. (2014). Anthropomorphic Notion of Atoms, the Etiology of Pedagogical and Epistemological Learning Proactive Interference among Chemistry Learners: Implications. *Science Journal of Education*, 2(2), 65-70.
<https://doi.org/10.11648/j.sjedu.20140202.15>

- Hadinugrahaningsih, T., Zahia, B., Rahmawati, Y., & Kartika, I. R. (2018). Analisis Laboratory Jargon dan Miskonsepsi dalam Materi Asam-Basa. *JRPK: Jurnal Riset Pendidikan Kimia*, 8(2), 11–24. <https://doi.org/10.21009/jrpk.082.02>
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence: An essay on the construction of formal operational structures*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/97813150096>
- Kaya, A. (2023). Addressing student misconceptions about atoms and examining instructor strategies for overcoming them. *Journal of Pedagogical Research*, 7(4), 251–262. <https://doi.org/10.33902/JPR.202323077>
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A., & Van Joolingen, W. R. (2017). Insights Into Teaching Quantum Mechanics In Secondary and Lower Undergraduate Education. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109>
- Langbeheim, E. (2015). Reinterpretation of students' ideas when reasoning about particle model illustrations. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(4), 697–700
- Listyani, P. C. A., Margunayasa, I. G., & Handayani, D. A. P. (2023). Model pembelajaran berbasis masalah terhadap miskonsepsi IPA siswa. *Jurnal Media dan Teknologi Pendidikan*, 4(1). <https://doi.org/10.23887/jmt.v4i1.62051>
- Liu, Y., & Taber, K. S. (2016). Analysing symbolic expressions in secondary school chemistry: their functions and implications for pedagogy. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(3), 439–451. <https://doi.org/10.1039/C6RP00013D>
- Malkawi, E. O., Obeidat, S. M., Al-Rawashdeh, N. A. F., Tit, N., & Obaidat, I. M. (2018). Misconceptions about Atomic Models Amongst the Chemistry Students. *International Journal for Innovation Education and Research*, 6(2), 256.
- Man'ko, O. V., & Man'ko, V. I. (2021). Probability representation of quantum states. *Entropy*, 23(5). <https://doi.org/10.3390/e23050549>
- Mura, S. (2023). Significance and Limitations of Bohr's Atomic Model. *Adv Chem Eng*, 13(6), 1000313–1000314. <https://doi.org/10.35248/2090-4568.23.13.313>
- Nufus, S., & Silfianah, I. (2023). Analisis Miskonsepsi Peserta Didik pada Materi Struktur Atom Menggunakan Five-Tier Multiple Choice Diagnostic Test Berbasis Piktorial. *Orbital: Jurnal Pendidikan Kimia*, 7(2), 126.
- Sari, A. R. P., Irwanto, Amelia, R. N., Nugraheni, S., & Astuti, S. R. (2015). Potensi Miskonsepsi Istilah Kimia Pada Buku Ajar Kimia SMAMateri Kesetimbangan Kimia Ditinjau Dari Aspek Kebahasaan. *Prosiding Seminar Nasional Kebijakan Nasional Kebahasaan*, 88–98.
- Sari, Rr. L. P., Pratomo, H., Yunita, I., Purtadi, S., Narayan, M., & Sugiyarto, K. H. (2023). Misconception in chemistry Textbooks: A Case Study on The Concept of Quantum Number, Electronic Configuration and Review for Teaching Material. *Foundations of Chemistry*, 25(3), 419–437. <https://doi.org/10.1007/s10698-023-09475-w>
- Sibinda, N., & Shumba, O. (2022). The Impact of Phet Interactive Simulations and Powerpoint Presentation Slide Show Visualisation on Learning Balancing of Chemical Equations Among Grade 10 Pupils. *Journal of Applied Chemical Science International*, 13(1), 1–5. <https://doi.org/10.56557/jacsi/2022/v13i17300>
- Zarkadis, N., Papageorgiou, G., & Markos, A. (2024). Studying Students' Representations of the “Orbital” and “Electron Cloud” Concepts.

Science Education International, 35(2), 109–118.
<https://doi.org/10.33828/sei.v35.i2.5>

Zarkadis, N., Papageorgiou, G., & Stamovlasis, D. (2017a). Studying The Consistency Between And Within The Student Mental Models For Atomic Structure. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 893–902.
<https://doi.org/10.1039/c7rp00135e>

Zarkadis, N., Papageorgiou, G., & Stamovlasis, D. (2017b). Studying The Consistency Between And Within The Student Mental Models For The Atomic Structure. *Chemistry Education*

Research and Practice, 18(4), 893–902.
<https://doi.org/10.1039/c7rp00135e>

Zarkadis, N., Stamovlasis, D., & Papageorgiou, G. (2021). Effects of Three Neo Piagetian Constructs on Students' Portrayed Representations of the Atomic Structure: A Latent Class Analysis. *European J of Physics Education*, 12(1), 1309–7202.

Zhu, G., & Singh, C. (2011). Improving Students' Understanding of Quantum Mechanics Via The Stern–Gerlach Experiment. *American Journal of Physics*, 79(5), 499–507.
<https://doi.org/10.1119/1.3546>