

Transformasi Pembelajaran Kimia melalui Pemanfaatan Kecerdasan Buatan (AI) pada Era Society 5.0

Jakub Saddam Akbar¹, Djakariah²

¹Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Manado, Tondano, Indonesia

²Pendidikan Sejarah, Universitas Negeri Cendana, Kupang, Indonesia

E-mail: ¹jakubakbar@unima.ac.id, ²djakariah@staf.undana.ac.id

*Penulis korespondensi

Riwayat artikel: submit: 4 Maret 2024; revisi: 22 Maret 2024, diterima: 30 Maret 2024

ABSTRAK

Pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dalam studi kimia telah membuka pintu menuju era baru dalam pengajaran ilmu kimia. Penggunaan teknologi AI memberikan kapabilitas untuk mengolah sejumlah besar data kimia dengan tingkat akurasi yang tinggi, memperkirakan dengan tepat sifat-sifat molekuler, serta mengembangkan molekul baru secara efisien. Tujuan Penelitian ini untuk menyoroti manfaat dan tantangan AI dalam pembelajaran kimia, mempertimbangkan aspek-aspek seperti peningkatan prediksi sifat-sifat kimia, efisiensi dalam desain molekul, pengelolaan data yang efektif, dan potensi terobosan baru dalam penelitian kimia. Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif deskriptif. Dengan melakukan tinjauan terhadap beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian. Hasil penelitian kecerdasan buatan (AI) telah memberikan transformasi yang signifikan dalam pembelajaran kimia. Dengan demikian, dapat disimpulkan kehadiran AI telah mengubah secara mendasar cara pembelajaran kimia dilakukan, menawarkan potensi besar untuk meningkatkan pengalaman belajar siswa dan mendorong kemajuan riset kimia di masa depan. Kontribusi penelitian ini memberikan pengetahuan bahwa penerapan AI dalam konteks pembelajaran kimia juga membuka peluang baru bagi para pelajar untuk lebih memahami konsep-konsep kimia secara mendalam melalui perangkat pembelajaran yang ditingkatkan, simulasi interaktif, dan prediksi yang akurat.

Kata kunci: Era Society 5.0, Artificial Intelligence (AI), pembelajaran kimia

ABSTRACT

The use of artificial intelligence (AI) in the study of chemistry has opened the door to a new era in teaching chemistry. The use of AI technology provides the capability to process large amounts of chemical data with a high degree of accuracy, precisely predict molecular properties, and develop new molecules efficiently. The aim of this research is to highlight the benefits and challenges of AI in chemistry learning, considering aspects such as improved prediction of chemical properties, efficiency in molecular design, effective data management, and the potential for new breakthroughs in chemical research. The research method used is descriptive qualitative. By reviewing several previous studies that are relevant to the research topic. The results of artificial intelligence (AI) research have provided a significant transformation in chemistry learning. Thus, it can be concluded that the presence of AI has fundamentally changed the way chemistry learning is carried out, offering great potential to improve students' learning experiences and encourage the progress of chemical research in the future. This research contribution provides knowledge that the application of AI in the context of chemistry learning also opens up new opportunities for students to understand chemical concepts more deeply through enhanced learning tools, interactive simulations, and accurate predictions.

Keywords: Society Era 5.0, Artificial Intelligence (AI), chemistry learning



Copyright © 2023 The Author(s)

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

PENDAHULUAN

Pendidikan adalah fondasi utama dalam perkembangan individu dan masyarakat. Hal tersebut bukan hanya terdiri dari proses penyampaian pengetahuan, tetapi juga pengembangan keterampilan, nilai, dan pemahaman yang mendalam tentang dunia di sekitar kita. Pendidikan menjadi sebuah proses yang kompleks dan multidimensional dengan tujuan untuk membantu pertumbuhan siswa dalam berbagai aspek kehidupan (Pongpalilu et al., 2023). Saat ini, masuknya siswa ke era pendidikan abad ke-21 mencerminkan perubahan signifikan dalam cara kita memahami pembelajaran. Era ini membawa tantangan baru sekaligus peluang luas untuk menciptakan individu yang siap menghadapi perubahan terus-menerus di dunia ini. Di era pembelajaran abad ke-21, para pendidik dihadapkan pada tuntutan untuk menjadi lebih kreatif dan inovatif dalam menyampaikan materi (Akbar et al., 2019).

Melalui kemajuan teknologi, globalisasi, dan perubahan sosial, pendidikan bukan lagi sekadar mengakumulasi pengetahuan, melainkan juga tentang pengembangan keterampilan kritis, adaptabilitas, dan kreativitas. Perkembangan dalam kecerdasan buatan (AI), big data, dan Internet of Things (IoT) telah membuka potensi baru dalam ranah teknologi informasi dan komunikasi (TIK) (Akbar & Djakariah, 2023). AI berpotensi untuk mengubah cara kita belajar dan mengajar, membentuk masa depan pendidikan yang lebih adaptif, efisien, dan terhubung dengan teknologi (Chassignol et al., 2018). AI mencakup berbagai teknologi, seperti terjemahan mesin, chatbot, dan algoritma self-learning, yang semuanya dapat membantu individu memahami lingkungan mereka dengan lebih baik dan bertindak sesuai keadaan (Wamba-Taguimdje et al., 2020). AI telah menjadi pendorong utama dalam transformasi drastis di berbagai bidang ilmu, termasuk kimia. Dalam konteks kimia, AI telah mengubah cara kita memahami, menganalisis, dan menerapkan pengetahuan tentang struktur molekuler, reaktivitas, dan desain bahan kimia.

Kimia itu sendiri adalah merupakan cabang dari ilmu pengetahuan alam yang mendalami struktur materi, transformasi materi, karakteristik zat, aturan-aturan, prinsip-prinsip, dan konsep-konsep yang menjelaskan proses perubahan materi (Effendy et al., 2016). Dalam istilah yang lebih sederhana, kimia adalah bidang pengetahuan yang mempelajari segala hal hingga pada level partikel molekuler dan atom. Perkembangan teknologi AI telah membawa perubahan signifikan dalam pendekatan pembelajaran kimia. Kemajuan teknologi dalam AI mengizinkan penggunaan algoritma dan model yang rumit, mulai dari pembelajaran mesin hingga jaringan saraf, yang memungkinkan kita menganalisis data kimia dengan lebih efisien. Hal tersebut mempercepat pengenalan pola dalam dataset yang besar dan kompleks, memungkinkan kita mengidentifikasi korelasi dan pola tersembunyi dalam sifat-sifat kimia. Penerapan AI dalam pembelajaran kimia melibatkan beberapa aspek penting. Salah satunya adalah prediksi sifat-sifat molekuler. Melalui teknik pembelajaran mesin, AI mampu memprediksi sifat-sifat kimia dengan akurat berdasarkan struktur molekuler. Ini berdampak besar dalam desain molekul baru, pengembangan obat-obatan, dan penciptaan material dengan sifat-sifat yang diinginkan. Studi distribusi publikasi menunjukkan bahwa kimia analitik dan biokimia adalah bidang penelitian kimia yang paling mengintegrasikan AI dengan pertumbuhan tertinggi (Baum et al., 2021).

Menurut de Almeida et al., (2019) AI telah menawarkan potensi untuk mengubah paradigma dalam menyederhanakan dan mengotomatisasi sintesis kimia yang kompleks, yang sebelumnya memerlukan pengetahuan yang mendalam dan pengalaman laboratorium yang luas. AI juga memfasilitasi pemodelan struktur molekuler yang lebih akurat dan efisien. Dengan integrasi algoritma AI dalam pemodelan struktur, para ilmuwan kimia dapat merancang struktur molekuler dengan lebih cepat dan efisien, mempercepat proses penelitian dan

pengembangan bahan kimia baru. Kemajuan teknologi seperti machine learning dan AI menawarkan peluang besar untuk meningkatkan kemampuan dalam penemuan obat (Griffen et al., 2018). Selain itu AI juga memberikan tantangan baru tidak hanya bagi para ilmuwan yang terlibat tetapi juga bagi industri biofarmasi dan proses yang sudah mapan dalam menemukan dan mengembangkan obat baru (Schneider et al., 2020). Melalui analisis 207 artikel penelitian, ditemukan bahwa Generative Artificial Intelligence (GAI) dalam pendidikan memiliki potensi besar dalam transformasi pendidikan, terutama dalam bidang-bidang spesifik seperti pendidikan medis dan Teknik (Bahroun et al., 2023). Walaupun demikian, menurut Cope et al., (2021) kecerdasan buatan tidak akan pernah dalam arti apapun 'mengambil alih' peran guru karena cara kerjanya dan apa yang dilakukannya begitu sangat berbeda dari kecerdasan manusia.

Studi dan penelitian dalam bidang Kimia, seperti yang tercatat dalam *Journal of Chemical Information and Modeling* atau *Molecular Informatics*, telah menunjukkan bagaimana AI dapat membantu dalam memprediksi sifat-sifat molekuler, menjelajahi struktur kimia yang kompleks, dan memberikan wawasan lebih mendalam tentang interaksi molekuler. Penggunaan AI dalam kimia juga melibatkan analisis besar data, yang memungkinkan kita untuk mengekstraksi informasi berharga dari dataset besar, seperti database sifat-sifat molekuler atau interaksi kimia. Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi AI telah menjadi kunci dalam mempercepat penelitian kimia dan telah membuka pintu bagi terobosan baru dalam pemahaman kita tentang kimia. Dengan eksplorasi lebih lanjut, diharapkan bahwa penerapan AI dalam kimia akan terus menghasilkan inovasi yang dapat mengubah paradigma dalam ilmu kimia secara keseluruhan. Melalui kecerdasan buatan (AI), siswa kimia akan memiliki akses yang lebih baik terhadap alat pembelajaran yang ditingkatkan dan dipersonalisasi. Mereka dapat menggunakan model prediksi canggih untuk memahami sifat-sifat molekuler, melakukan simulasi reaksi kimia, dan memprediksi hasil percobaan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Untuk memaksimalkan potensi AI, integrasi dengan strategi pembelajaran yang digunakan sangat penting. Penggunaan strategi pembelajaran memiliki dampak signifikan pada hasil belajar siswa (Akbar et al., 2019). AI dapat membantu siswa memahami konsep-konsep kimia yang kompleks melalui visualisasi interaktif, membuat pembelajaran lebih menarik dan mudah dipahami.

Pada era Society 5.0, transformasi mendalam terjadi dalam berbagai bidang kehidupan, dimana teknologi, khususnya kecerdasan buatan (AI), menjadi pendorong utama perubahan. AI dapat meningkatkan kesetaraan pendidikan dengan menyediakan akses pembelajaran personal di daerah terpencil, mengurangi ketimpangan sumber daya pendidikan, dan memungkinkan koreksi tugas secara otomatis (Huang et al., 2021). Salah satu wilayah yang terpengaruh secara signifikan adalah pendidikan, khususnya dalam pembelajaran disiplin ilmu seperti kimia. Pemanfaatan kecerdasan buatan telah membuka pintu menuju paradigma baru dalam cara kita belajar dan mengajar kimia. Dalam konteks ini, pembelajaran kimia tidak lagi terbatas pada transfer pengetahuan konvensional. Sebaliknya, melalui penerapan kecerdasan buatan, terjadi transformasi yang memungkinkan adaptasi kurikulum, metode pengajaran, dan pengembangan teknologi dalam pendekatan pembelajaran. Hal ini membuka peluang baru untuk mengeksplorasi konsep, mendorong kolaborasi, dan merangsang minat serta pemahaman yang lebih dalam terhadap disiplin kimia.

Penelitian ini bertujuan untuk menjelajahi bagaimana pemanfaatan kecerdasan buatan merubah lanskap pembelajaran kimia pada era Society 5.0. Melalui pemahaman mendalam terhadap peran kecerdasan buatan dalam transformasi pembelajaran kimia, diharapkan dapat terbentuk fondasi yang kokoh untuk menghadapi tuntutan masa depan dalam pendidikan,

mempersiapkan generasi yang terampil dan terhubung secara teknologi dalam memahami dan menghadapi tantangan di bidang kimia dan beyond.

METODE

Metode penelitian adalah prosedur ilmiah yang bertujuan untuk memperoleh data dengan tujuan khusus (Kurniawan et al., 2023). Dalam penelitian ini, pendekatan metodologi yang diterapkan adalah kualitatif deskriptif. Peneliti juga melakukan tinjauan terhadap beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian, yakni implementasi kecerdasan buatan (AI) dalam pembelajaran Kimia. Pendekatan pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur, dimana data diambil dari sumber-sumber bacaan yang berkaitan dengan penerapan kecerdasan buatan (AI) dalam konteks pembelajaran Kimia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

POTENSI PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN DALAM PROSES BELAJAR KIMIA

Penerapan AI telah mengubah alat-alat pendidikan dengan beragam aplikasi, seperti platform pembelajaran personal untuk meningkatkan pembelajaran siswa, sistem penilaian otomatis untuk membantu guru, dan sistem pengenalan wajah untuk mendapatkan wawasan tentang perilaku pembelajar (Akgun & Greenhow, 2021). Penerapan kecerdasan buatan (AI) dalam pembelajaran kimia memberikan sejumlah potensi yang signifikan, beberapa diantaranya yaitu :

Dapat Memprediksi Sifat-Sifat Molekuler

AI mampu memprediksi sifat-sifat molekuler dengan akurasi yang tinggi berdasarkan struktur molekuler. Hal ini memungkinkan peramalan yang lebih tepat terkait dengan reaktivitas, stabilitas, atau sifat-sifat lainnya dari molekul. Artikel "*Chemception: A Deep Neural Network with Minimal Chemistry Knowledge Matches the Performance of Expert-developed QSAR/QSPR Models*" yang dipublikasikan dalam arXiv pada tahun 2017 menunjukkan tentang pengembangan jaringan saraf tiruan yang disebut *Chemception*. Jaringan saraf ini dirancang dengan tujuan untuk dapat memprediksi sifat-sifat molekuler dengan performa yang setara atau bahkan melampaui model-model tradisional yang telah dikembangkan oleh para ahli dalam QSAR/QSPR (Quantitative Structure-Activity Relationship/Quantitative Structure-Property Relationship) (Goh et al., 2017).

Pemodelan Struktur Molekuler

Dengan memanfaatkan teknik pembelajaran mesin dan jaringan saraf, AI dapat mempercepat proses pemodelan struktur molekuler, memungkinkan desain molekul baru yang lebih cepat dan efisien. Artikel "*Neural-symbolic machine learning for retrosynthesis and reaction prediction*" oleh Segler & Waller (2017) menunjukkan penggunaan pendekatan *neural-symbolic machine learning* dalam meramalkan reaksi kimia retrosintesis. Retrosintesis adalah proses kunci dalam kimia organik yang mencoba untuk menentukan jalur sintesis dari molekul kompleks ke molekul sederhana yang lebih mudah ditemukan. Temuan ini mengeksplorasi bagaimana teknik pembelajaran mesin yang disebut *neural-symbolic machine learning* digunakan untuk membantu memprediksi jalur retrosintesis ini dengan lebih akurat. Mereka menggunakan pendekatan yang menggabungkan teknik-teknik dari pembelajaran mesin dengan representasi simbolis yang digunakan dalam kimia organik. Pendekatan ini memungkinkan mesin untuk mempelajari pola dari reaksi-reaksi yang terdapat dalam dataset kimia besar dan dapat digunakan untuk meramalkan jalur retrosintesis dengan lebih baik. Penelitian Segler & Waller (2017) menunjukkan kemajuan dalam pemodelan reaksi kimia

dengan menggunakan pendekatan *machine learning*, yang dapat memiliki implikasi besar dalam pemahaman dan desain proses sintesis molekuler dalam kimia organik.

Analisis Data Kimia yang Besar

AI mampu mengolah dan menganalisis data kimia yang besar dengan cepat, membantu dalam mengekstraksi pola-pola tersembunyi, hubungan, dan tren dari dataset yang kompleks. Artikel "*MoleculeNet: a benchmark for molecular machine learning*" mengemukakan tentang *MoleculeNet*, yang merupakan sebuah *benchmark* atau tolak ukur untuk evaluasi kinerja metode-metode *machine learning* dalam konteks kimia dan molekuler (Wu et al., 2018). *MoleculeNet* dibuat sebagai platform yang dirancang khusus untuk menguji dan membandingkan berbagai pendekatan *machine learning* dalam memprediksi sifat-sifat molekuler. Tujuan dari *MoleculeNet* adalah untuk memberikan standar evaluasi yang baik dan konsisten untuk komunitas peneliti yang terlibat dalam pengembangan algoritma *machine learning* di bidang kimia. Dengan demikian, temuan ini memberikan kontribusi yang penting dalam memperkuat dasar pengetahuan tentang keefektifan metode-metode *machine learning* dalam memprediksi sifat-sifat molekuler dan menyediakan bahan referensi yang sangat berguna bagi peneliti dalam membandingkan kinerja berbagai algoritma dalam konteks kimia.

Prediksi Reaktivitas dan Kegunaan Kimia

AI memungkinkan prediksi yang lebih akurat terkait dengan reaktivitas kimia, memungkinkan pengembangan obat-obatan baru, material dengan sifat khusus, atau katalis kimia yang lebih efektif. Salah satu artikel yang memperkuat pernyataan ini adalah artikel dengan judul "*Is multitask deep learning practical for pharma?*" yang membahas tentang penggunaan pendekatan *multitask deep learning* dalam konteks industri farmasi (Ramsundar et al., 2017). Penelitian tersebut bertujuan untuk mengevaluasi apakah pendekatan *multitask deep learning* praktis dan efektif dalam meramalkan sifat-sifat kimia yang penting untuk industri farmasi. Menggunakan teknik-teknik dalam *deep learning*, artikel ini mencoba untuk mengintegrasikan dan mempelajari banyak tugas (*multitasking*) sekaligus, seperti meramalkan aktivitas biologis atau sifat-sifat molekuler dari senyawa kimia. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan efektivitas dan praktikabilitas penggunaan pendekatan *multitask deep learning* dalam ramalan sifat-sifat kimia yang relevan dengan industri farmasi. Temuan tersebut memberikan wawasan yang penting tentang potensi serta batasan dari penggunaan teknik *multitask deep learning* dalam konteks pengembangan obat-obatan dan aplikasi farmasi lainnya (Ramsundar et al., 2017).

Pengurangan Ketergantungan pada Eksperimen

Dengan kemampuan prediksi yang tinggi, AI dapat membantu dalam mengurangi eksperimen berulang, menghemat waktu dan sumber daya dalam penelitian kimia. Pernyataan ini sejalan dengan temuan Artikel "Automatic Chemical Design using a Data-Driven Continuous Representation of Molecules" yang menemukan pendekatan untuk desain molekul yang otomatis dengan menggunakan representasi molekul yang kontinu yang didasarkan pada data. Pendekatan ini bertujuan untuk menciptakan molekul-molekul baru dengan sifat-sifat yang diinginkan secara otomatis berdasarkan representasi kontinu dari struktur molekuler (Gómez-Bombarelli et al., 2016). Temuan ini mengeksplorasi konsep representasi molekul yang dapat dipahami oleh mesin dengan cara yang kontinu, yang memungkinkan pemodelan struktur molekul secara efisien dan penggunaan teknik-teknik pembelajaran mesin untuk memprediksi sifat-sifat atau fungsi dari molekul-molekul yang dihasilkan. Temuan ini memberikan dasar yang kuat untuk pendekatan desain molekul yang lebih otomatis dan inovatif dalam kimia.

Inovasi dalam Penelitian Kimia

Penerapan AI dalam kimia membuka pintu untuk terobosan-terobosan baru, mempercepat penemuan bahan kimia baru, dan memberikan wawasan yang lebih mendalam

tentang sifat-sifat molekuler. Temuan pada artikel "*Machine learning for molecular and materials science*" yang dipublikasikan di Nature pada tahun 2018 membahas penerapan teknik *machine learning* dalam ilmu molekuler dan material. Temuan ini menguraikan bagaimana *machine learning* telah menjadi alat yang sangat berguna dalam meramalkan, menganalisis, dan merancang sifat-sifat molekuler dan material baru (Butler et al., 2018). Temuan ini membahas bagaimana *machine learning* telah diadopsi dan diterapkan dalam konteks kimia, fisika, dan ilmu material. Mereka menjelaskan berbagai aplikasi *machine learning* dalam memprediksi sifat-sifat material, mencari struktur molekuler yang diinginkan, dan menggambarkan bagaimana teknologi ini telah mempercepat kemajuan di bidang penelitian kimia dan material.

Optimisasi Proses Kimia

Dengan kemampuan prediksi dan pemodelan yang lebih baik, AI dapat membantu dalam mengoptimalkan proses-proses kimia, meningkatkan efisiensi produksi dan kualitas produk. Kombinasi antara AI dan kimia membuka potensi untuk terobosan besar dalam pemahaman dan aplikasi kimia, meningkatkan kemampuan kita dalam merancang molekul baru, memprediksi sifat-sifat kimia, dan meningkatkan efisiensi penelitian dan pengembangan di bidang kimia.

TANTANGAN YANG DIHADAPI DALAM PENERAPAN KECERDASAN BUATAN (AI) DALAM PEMBELAJARAN KIMIA

Kualitas Data

Kualitas dan kuantitas data kimia yang relevan sering kali menjadi tantangan. Seringkali, dataset yang tersedia terbatas dalam cakupan atau keberagaman, yang dapat mempengaruhi akurasi dan generalisasi dari model yang dibangun.

Validasi Model

Model yang kompleks seringkali sulit untuk diinterpretasi. Ini bisa menjadi masalah dalam kimia di mana pentingnya pemahaman struktur molekuler dan interaksi adalah kunci.

Etika dan Keamanan:

Data sensitif dalam penelitian kimia harus dijaga keamanannya, terutama ketika menggunakan teknik AI yang membutuhkan akses ke data sensitif atau eksperimen berharga. Penggunaan AI dalam pembelajaran kimia juga memunculkan pertanyaan etika tentang tanggung jawab penggunaan teknologi ini, terutama dalam penggunaan untuk pengembangan obat-obatan atau bahan kimia baru.

Keterbatasan Algoritma dan Komputasi

Algoritma AI belum sempurna dan masih memiliki batasan dalam memahami pola yang kompleks dalam data kimia. Penggunaan teknologi AI dalam kimia memerlukan infrastruktur komputasi yang kuat untuk mengolah dan menganalisis data yang besar, yang bisa menjadi hambatan bagi sebagian peneliti.

Integrasi dengan Pengetahuan Domain

Memahami hasil AI dalam konteks kimia dan mengintegrasikannya dengan pengetahuan kimia yang ada merupakan tantangan tambahan.

Tantangan Masa Depan

Perluasan pengetahuan kimia dan teknologi AI yang terus berkembang memerlukan pembaruan konstan terhadap model yang ada, memerlukan penelitian yang berkelanjutan. Menjawab tantangan-tantangan ini akan memerlukan kolaborasi antara ahli kimia, ilmuwan komputer, dan pakar AI untuk mengatasi keterbatasan, meningkatkan interpretabilitas, dan

memastikan keamanan serta etika dalam penerapan kecerdasan buatan dalam pembelajaran kimia.

SIMPULAN DAN SARAN

Dalam era Society 5.0, pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) telah memberikan transformasi yang signifikan dalam pembelajaran kimia. Penerapan kecerdasan buatan (AI) dalam pembelajaran kimia telah membawa dampak besar dalam bidang pendidikan. AI memungkinkan prediksi yang lebih akurat terkait dengan sifat-sifat molekuler. Ini mengarah pada kemampuan untuk memperkirakan reaktivitas, stabilitas, dan karakteristik lain dari molekul dengan tingkat akurasi yang tinggi. Teknik AI mempercepat proses permodelan struktur molekuler, memungkinkan desain molekul baru yang lebih cepat dan efisien. Hal ini membuka peluang untuk pengembangan material baru, obat-obatan inovatif, dan katalis kimia yang lebih efektif. AI mampu mengolah dan menganalisis data kimia yang besar dengan cepat, memungkinkan ekstraksi pola tersembunyi, hubungan, dan tren dari dataset yang kompleks. Penerapan AI dalam pembelajaran kimia membuka pintu untuk terobosan baru, mempercepat penemuan bahan kimia baru, dan memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang sifat-sifat molekuler. AI tidak hanya meningkatkan proses pembelajaran kimia, tetapi juga membawa perubahan besar dalam bagaimana penelitian dan pengembangan bahan kimia dilakukan. Ini membuka peluang besar untuk inovasi yang lebih lanjut dalam bidang kimia dan memberikan landasan yang kuat untuk kemajuan di masa depan.

REFERENSI

- Akbar, J. S., Dasna, I. W., & Wonorahardjo, S. (2019). The effect of guided inquiry-based practicum learning and prior knowledge on learning outcomes and science process skills of high school students on solubility and solubility products. *Jurnal Pendidikan Sains*, 7(3), 80–84.
- Akbar, J. S., & Djakariah, D. (2023). Pemanfaatan Media Pembelajaran Berbasis Android Menggunakan Pendekatan Inkuiri Untuk Memperkuat Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) Calon Guru. *Oxygenius Journal Of Chemistry Education*, 5(1), 46–53.
- Akgun, S., & Greenhow, C. (2021). Artificial intelligence in education: Addressing ethical challenges in K-12 settings. *AI and Ethics*, 1–10.
- Bahroun, Z., Anane, C., Ahmed, V., & Zacca, A. (2023). Transforming education: A comprehensive review of generative artificial intelligence in educational settings through bibliometric and content analysis. *Sustainability*, 15(17), 12983.
- Baum, Z. J., Yu, X., Ayala, P. Y., Zhao, Y., Watkins, S. P., & Zhou, Q. (2021). Artificial Intelligence in chemistry: current trends and future directions. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 61(7), 3197–3212.
- Butler, A., Hoffman, P., Smibert, P., Papalexi, E., & Satija, R. (2018). Integrating single-cell transcriptomic data across different conditions, technologies, and species. *Nature Biotechnology*, 36(5), 411–420.
- Chassignol, M., Khoroshavin, A., Klimova, A., & Bilyatdinova, A. (2018). Artificial Intelligence trends in education: a narrative overview. *Procedia Computer Science*, 136, 16–24.
- Cope, B., Kalantzis, M., & Sears, D. (2021). Artificial intelligence for education: Knowledge and its assessment in AI-enabled learning ecologies. *Educational Philosophy and Theory*, 53(12), 1229–1245.
- de Almeida, A. F., Moreira, R., & Rodrigues, T. (2019). Synthetic organic chemistry driven by artificial intelligence. *Nature Reviews Chemistry*, 3(10), 589–604.

- Effendy, N., Wahab, Z. A., Kamari, H. M., Matori, K. A., Ab Aziz, S. H., & Zaid, M. H. M. (2016). Structural and optical properties of Er³⁺-doped willemite glass-ceramics from waste materials. *Optik*, *127*(24), 11698–11705.
- Goh, G. B., Hodas, N. O., & Vishnu, A. (2017). Deep learning for computational chemistry. *Journal of Computational Chemistry*, *38*(16), 1291–1307.
- Gómez-Bombarelli, R., Wei, J. N., Duvenaud, D., Hernández-Lobato, J. M., Sánchez-Lengeling, B., Sheberla, D., Aguilera-Iparraguirre, J., Hirzel, T. D., Adams, R. P., & Aspuru-Guzik, A. (2016). Automatic chemical design using a data-driven continuous representation of molecules. *ACS Central Science*, *4*(2), 2.
- Griffen, T. C., Naumann, E., & Hildebrandt, T. (2018). Mirror exposure therapy for body image disturbances and eating disorders: A review. *Clinical Psychology Review*, *65*, 163–174.
- Huang, J., Saleh, S., & Liu, Y. (2021). A review on artificial intelligence in education. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, *10*(206).
- Kurniawan, H., Hakim, L., Sanulita, H., Maiza, M., Arisanti, I., Rismawan, M., & Sudipa, I. G. I Daryaswanti, P. I., Kharisma, L. P. I., & Haryani, H. (2023). (2023). *TEKNIK PENULISAN KARYA ILMIAH: Cara membuat Karya Ilmiah yang baik dan benar*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Pongpalilu, F., Hamsiah, A., Raharjo, R., Sabur, F., Nurlela, L., Hakim, L., Waliulu, H., Hasanah, N., Maruddani, R. T. J., & Suroso, S. (2023). *Perkembangan Peserta Didik: Teori & Konsep Perkembangan Peserta Didik Era Society 5.0*. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Ramsundar, B., Liu, B., Wu, Z., Verras, A., Tudor, M., Sheridan, R. P., & Pande, V. (2017). Is multitask deep learning practical for pharma? *Journal of Chemical Information and Modeling*, *57*(8), 2068–2076.
- Schneider, P., Walters, W. P., Plowright, A. T., Sieroka, N., Listgarten, J., Goodnow Jr, R. A., & Schneider, G. (2020). Rethinking drug design in the artificial intelligence era. *Nature Reviews Drug Discovery*, *19*(5), 353–364.
- Segler, M. H., & Waller, M. P. (2017). Neural-symbolic machine learning for retrosynthesis and reaction prediction. *Chemistry - A European Journal*, *23*(25), 5966–5971.
- Wamba-Taguimdje, S. L., Fosso Wamba, S., Kala Kamdjoug, J. R., & Tchatchouang Wanko, C. E. (2020). Influence of artificial intelligence (AI) on firm performance: the business value of AI-based transformation projects. *Business Process Management Journal*, *26*(7), 1893–1924.
- Wu, Z., Ramsundar, B., Feinberg, E. N., Gomes, J., Geniesse, C., Pappu, A. S., & Pande, V. (2018). MoleculeNet: a benchmark for molecular machine learning. *Chemical Science*, *9*(2), 513–530.