

Tinjauan Sistematis Metodologi Penelitian Informatika: Tren, Tantangan, dan Arah Masa Depan

Noera Khairiyati Zulkarnaen^{1)*} , Nadiva Qolbi²⁾ 

¹⁾²⁾ Teknik, Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾ noerakhairiyatizulkarnaen@gmail.com, ²⁾ nadivaqolbi24@gmail.com

Abstrak

Selama satu dekade terakhir, bidang informatika telah mengalami percepatan luar biasa yang mengubah cara penelitian dilakukan baik dalam pendekatan metodologis, teknik analisis, maupun keterpaduan lintas disiplin. Penelitian ini berupaya menelusuri dinamika tersebut dengan mengidentifikasi tren metodologi penelitian terkini, menyoroti tantangan fundamental yang muncul, dan menawarkan arah pengembangan metodologi yang lebih adaptif serta berkelanjutan. Studi ini menggunakan mixed methods yang mengombinasikan tinjauan sistematis terhadap beberapa artikel ilmiah internasional. Data dikumpulkan berdasarkan protokol PRISMA melalui systematic literature review dan dianalisis menggunakan perpaduan statistik deskriptif dan analisis tematik. Temuan menunjukkan kecenderungan kuat terhadap penggunaan metodologi kuantitatif berbasis data terutama machine learning dan data mining yang kemudian diimbangi oleh meningkatnya pemanfaatan mixed methods dalam riset interdisipliner. Beberapa tantangan utama yang teridentifikasi mencakup rendahnya tingkat replikasi hasil penelitian, kompleksitas pengelolaan data berskala besar, serta integrasi aspek sosial dan etika ke dalam kerangka konseptual terpadu yang memetakan hubungan antara tren metodologis, hambatan struktural, dan arah masa depan disiplin. Kontribusi ini diharapkan dapat memperkuat fondasi pengembangan metodologi penelitian informatika yang lebih tangguh, transparan, dan relevan dengan kebutuhan kontekstual, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia.

Keywords: metodologi penelitian, informatika, systematic review, reproducibility.

Article history: Received 5 April 2026, first decision 22 April 2026, accepted 22 August 2026, available online 28 October 2026

I. PENDAHULUAN

Dalam satu dekade terakhir, kemajuan teknologi informasi telah membawa perubahan struktural yang mendalam terhadap cara manusia memperoleh, memproses, serta memanfaatkan data [1]. Perkembangan signifikan pada bidang seperti artificial intelligence, big data, dan cloud computing telah memicu lahirnya berbagai inovasi, mulai dari sistem cerdas hingga analitik prediktif dan otomatisasi pengambilan keputusan [2]. Transformasi ini tidak hanya memperluas cakupan aplikasi teknologi, tetapi juga secara fundamental menggeser paradigma penelitian dalam disiplin informatika [3].

Secara historis, penelitian di bidang informatika didominasi oleh pendekatan berbasis algoritma deterministik dan sistem berbasis aturan [4]. Namun, meningkatnya kompleksitas data serta kebutuhan akan sistem yang lebih adaptif mendorong terjadinya pergeseran menuju pendekatan berbasis data (data-driven) [5]. Dalam kerangka ini, sistem dikembangkan tidak semata melalui perancangan logika eksplisit, melainkan melalui proses pembelajaran dari data dalam skala besar dan heterogen [6]. Perubahan paradigma tersebut membawa konsekuensi metodologis yang signifikan, khususnya dalam perancangan eksperimen, pemilihan teknik analisis, serta proses validasi hasil penelitian [7].

Meskipun perkembangan ini membuka ruang eksplorasi ilmiah yang luas, sejumlah tantangan metodologis tetap menjadi perhatian utama [8]. Banyak penelitian informatika masih menghadapi persoalan terkait transparansi, konsistensi, dan reproducibility [9]. Keterbatasan akses terhadap dataset maupun kode sumber seringkali menghambat upaya verifikasi dan replikasi hasil oleh peneliti lain [10]. Selain itu, penggunaan model kompleks seperti deep learning yang bersifat black box menimbulkan kesulitan dalam interpretasi, sehingga hubungan antara input dan output sistem menjadi kurang transparan [11].

Di sisi lain, terdapat kecenderungan bahwa penelitian informatika terlalu menitikberatkan aspek teknis, dengan mengabaikan dimensi sosial, etika, serta konteks implementasi teknologi [12]. Tidak jarang, sistem yang menunjukkan kinerja tinggi secara teknis justru kurang efektif ketika diterapkan dalam konteks nyata, terutama jika tidak mempertimbangkan karakteristik pengguna dan lingkungan sosialnya [13]. Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan antara pengembangan teknologi dan penerapannya di lapangan [14].

* Noera Khairiyati Zulkarnaen

Kajian-kajian terdahulu yang membahas metodologi penelitian infomatika umumnya masih bersifat parsial [15]. Beberapa penelitian berfokus pada tren teknologi tertentu, seperti machine learning atau big data, tanpa mengkaji implikasi metodologisnya secara komprehensif [16]. Sementara itu, studi lain menyoroti isu spesifik seperti reproducibility atau etika penelitian, namun belum mengintegrasikannya dalam kerangka perkembangan metodologi secara menyeluruh [17]. Oleh karena itu, masih terdapat kebutuhan akan kajian sistematis yang mampu mengaitkan tren metodologi, tantangan penelitian, serta arah pengembangan ke depan dalam satu kerangka analisis yang terpadu[18].

Urgensi penelitian ini menjadi semakin relevan dalam konteks Indonesia [19]. Peningkatan jumlah publikasi di bidang infomatika dalam beberapa tahun terakhir mencerminkan berkembangnya ekosistem digital dan dukungan terhadap riset teknologi [20]. Namun demikian, peningkatan kuantitas tersebut belum sepenuhnya diiringi oleh kualitas metodologi penelitian yang memadai [21]. Keterbatasan akses terhadap data berkualitas, belum optimalnya penerapan prinsip open science, serta minimnya kolaborasi internasional masih menjadi tantangan dalam menghasilkan penelitian yang berdaya saing global[22].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menyusun tinjauan sistematis terhadap metodologi penelitian dalam bidang informatika dengan menitikberatkan pada tiga aspek utama [23]. Pertama, mengidentifikasi tren metodologi yang berkembang dalam penelitian informatika kontemporer [24]. Kedua, menganalisis tantangan utama yang muncul dalam penerapannya [25]. Ketiga, merumuskan arah pengembangan metodologi yang lebih adaptif, transparan, dan kontekstual di masa depan[26].

Dengan mengintegrasikan ketiga aspek tersebut dalam satu kerangka analisis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baik secara teoretis maupun praktis dalam pengembangan metodologi penelitian informatika yang lebih komprehensif [27]. Selain itu, temuan penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi peneliti, akademisi, dan praktisi dalam merancang penelitian yang tidak hanya unggul secara teknis, tetapi juga relevan dengan kebutuhan masyarakat serta dinamika perkembangan teknologi global[28].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Secara umum, metodologi penelitian dalam bidang infomatika dapat dikategorikan ke dalam tiga pendekatan utama, yaitu kuantitatif, kualitatif, dan metode campuran (*mixed methods*). Klasifikasi ini tidak semata-mata mempresentasikan perbedaan pada teknik analisis, melainkan juga mencerminkan perbedaan landasan epistemologis dalam memahami fenomena teknologi. Pendekatan kuantitatif berakar pada paradigma positivistik yang menekankan pengukuran objektif, pengujian hipotesis, serta generalisasi temuan melalui analistik statistik. Dalam praktiknya, pendekatan ini banyak digunakan pada penelitian yang berfokus pada pengembangan algoritma, sistem cerdas, dan evaluasi kinerja model komputasi.

Seiring dengan meningkatnya kompleksitas sistem serta volume data yang terus berkembang, pendekatan kuantitatif mengalami transformasi menuju data-riven research [29]. Dalam kerangka ini, data tidak lagi sekedar objek analisis, tetapi menjadi pusat dari keseluruhan proses penelitian, sementara model dan algoritma berperan sebagai instrumen untuk mengekstraksi pola dan pengetahuan yang tersembunyi [30]. Kemajuan dalam machine learning dan deep learning turut memperkuat pergeseran ini dengan memungkinkan pengolahan data dalam skala besar dan struktur yang kompleks [31]. Namun demikian, pendekatan berbasis data juga menghadirkan sejumlah kritik, terutama terkait risiko overfitting, bias dalam datase, serta keterbatasan transparansi dalam interpretasi model[32].

Di sisi lain, pendekatan kualitatif berkembang sebagai respons terhadap keterbatasan pendekatan kuantitatif dalam menangkap dimensi kontekstual dan pengalaman manusia [33]. Dalam ranah seperti human-computer interaction dan sistem informasi, pendekatan ini digunakan untuk mengeksplorasi perilaku, persepsi, serta dinamika interaksi antara manusia dan teknologi [34]. Melalui pendekatan kualitatif, peneliti dapat memperoleh pemahaman yang lebih mendalam terhadap fenomena yang bersifat kompleks dan multidimensional, yang seringkali tidak dapat dijelaskan secara memadai melalui analisis numerik semata[35].

Dalam perkembangan terkini, metode campuran semakin banyak diadopsi sebagai upaya untuk mengintegrasikan keunggulan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan *mixed methods* memungkinkan penggabungan analisis statistik dengan interpretasi kontekstual, sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih utuh terhadap fenomena penelitian. Meskipun demikian, penerapan metode ini memerlukan perencanaan yang matang, khususnya dalam merancang desain penelitian, mengintegrasikan data dari berbagai sumber, serta menjaga konsistensi analisis. Tanpa kerangka metodologis yang koheren, integrasi kedua pendekatan justru berpotensi menimbulkan inkonsistensi atau kontradiksi temuan.

Selain perdebatan terkait pendekatan metodologis, isu reproducibility atau kemampuan untuk mereplikasi hasil penelitian menjadi perhatian penting dalam studi informatika modern [36]. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa

tidak sedikit studi yang belum menyediakan akses terbuka terhadap dataset maupun kode sumber, sehingga menyulitkan proses verifikasi dan replikasi oleh peneliti lain [37]. Kondisi ini berimplikasi pada validitas dan kredibilitas temuan ilmiah, serta berpotensi menghambat akumulasi pengetahuan secara sistematis [38]. Dalam konteks tersebut, inisiatif seperti open science dan open data mulai mendapatkan perhatian luas sebagai upaya untuk meningkatkan transparansi, meskipun implementasinya masih dihadapkan pada tantangan, terutama terkait privasi dan keamanan data[39].

Isu etika juga semakin menempati posisi sentral dalam metodologi penelitian infomatika, khususnya dalam konteks pemanfaatan data berskala besar [40]. Pengumpulan dan pengolahan data pengguna, terutama yang bersifat sensitif, memunculkan berbagai pertanyaan mengenai perlindungan privasi, keamanan informasi, serta keadilan dalam pengambilan keputusan berbasis algoritma [41]. Oleh karena itu, metodologi penelitian tidak hanya dituntut untuk memenuhi standar validitas ilmiah, tetapi juga harus mempertimbangkan implikasi etis dari teknologi yang dikembangkan[42].

Lebih lanjut, perkembangan pesat dalam teknologi seperti deep learning dan artificial intelligence telah mengubah lanskap metodologi penelitian secara signifikan [43]. Model berbasis neural network mampu mencapai tingkat performa yang tinggi, namun seringkali memiliki karakteristik black box yang menyulitkan proses interpretasi [44]. Keterbatasan ini menimbulkan tantangan dalam aspek akuntabilitas dan transparansi, sehingga mendorong berkembangnya pendekatan explainable AI sebagai upaya untuk meningkatkan keterjelasan hasil model. [45]

Berdasarkan uraian tersebut, dapat dipahami bahwa metodologi penelitian informatika mengalami evolusi yang dinamis, dipengaruhi oleh kemajuan teknologi, meningkatnya kompleksitas analisis, serta tuntutan terhadap transparansi dan etika penelitian [46]. Meskipun demikian, kajian yang ada masih cenderung terfragmentasi dan berfokus pada aspek-aspek tertentu secara terpisah [47]. Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian yang mampu mengintegrasikan tren metodologi, tantangan penelitian, serta arah pengembangan ke depan dalam satu kerangka analisis yang komprehensif [48]. Penelitian ini berupaya menjawab kebutuhan tersebut dengan menyusun pendekatan yang lebih terstruktur dan terintegrasi[49].

III. METODE

Penelitian ini mengadopsi pendekatan mixed methods dengan desain systematic literature review (SLR) yang mengacu pada protokol PRISMA guna memastikan proses seleksi literatur berlangsung secara sistematis, transparan, dan dapat ditelusuri [50]. Sumber data diperoleh dari beberapa artikel ilmiah internasional, dengan kriteria pemilihan yang mencakup relevansi topik, dan kualitas publikasi.

Proses pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahapan yang terstruktur, meliputi indentifikasi awal literatur, penyaringan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, evaluasi kelayakan, serta tahap akhir berupa inklusi studi yang memenuhi persyaratan. Pendekatan analisis dilakukan dalam dua tahap utama, yaitu analisis kuantitatif untuk memetakan distribusi metodologi penelitian dan perkembangan tren teknologi, serta analisis kualitatif tematik untuk mengidentifikasi pola, tantangan, dan arah pengembangan metodologi penelitian infomatika secara lebih mendalam.

Untuk menjaga validitas temuan, penelitian ini menerapkan teknik triangulasi sumber serta proses analisis yang bersifat iteratif. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan, antara lain jumlah literatur yang dianalisis masih terbatas serta adanya potensi bias interpretatif dalam proses analisis tematik yang bergantung pada perspektif peneliti.

IV. HASIL

Hasil analisis menunjukkan bahwa pendekatan kuantitatif masih menjadi dominan dalam penelitian infomatika dengan menjadi dominan dalam penelitian infomatika dengan proposi sebesar 62%, diikuti oleh metode campuran sebesar 23% dan pendekatan kualitatif sebesar 15%. Distribusi ini mengindikasikan kuatnya orientasi penelitian terhadap analisis berbasis data serta evaluasi kinerja sistem komputasi.

Ditinjau dari perkembangan teknologi, *machine learning* menempati posisi paling dominan dengan kontribusi sebesar 48%, diikuti oleh *data mining* sebesar 27% dan *cloud computing* sebesar 15%. Temuan ini mencerminkan adanya pergeseran metodologis menuju pendekatan *data-driven* yang semakin kompleks serta meningkatnya ketergantungan pada ketersediaan data dalam skala besar.

Lebih lanjut, penelitian ini juga mengidentifikasi sejumlah tantangan utama dalam metodologi infomatika, meliputi tingginya kompleksitas data, rendahnya tingkat *reproducibility*, serta keterbatasan dalam mengintegrasikan dimensi sosial dan etika ke dalam penelitian berbasis teknologi.

V. PEMBAHASAN

Temuan penelitian ini mengindikasikan adanya pergeseran yang semakin nyata dalam metodologi penelitian informatika menuju pendekatan yang bersifat *data-driven* data interdisipliner. Dominasi metode kuantitatif mencerminkan kuatnya orientasi penelitian pada pengukuran dan evaluasi kinerja sistem. Namun demikian, kecenderungan ini sekaligus mengisyaratkan potensi pengabaian terhadap dimensi kontekstual dan sosial yang turut memengaruhi efektivitas penerapan teknologi.

Meningkatnya penggunaan metode campuran menunjukkan adanya kebutuhan akan pendekatan yang lebih komprehensif dalam memahami relasi antara teknologi dan manusia. Integrasi antara analisis kuantitatif dan interpretasi kualitatif memberikan peluang untuk menghasilkan pemahaman yang lebih mendalam. Meskipun demikian, penerapan pendekatan ini masih menghadapi tantangan, khususnya dalam hal perancangan desain penelitian yang koheren serta integrasi data dari berbagai sumber yang heterogen.

Isu *reproducibility* yang teridentifikasi dalam penelitian ini mencerminkan adanya kesenjangan antara praktik penelitian yang berkembang saat ini dengan prinsip-prinsip ilmiah yang ideal. Keterbatasan akses terhadap data dan kode sumber, serta belum optimalnya penerapan praktik *open science*, menjadi faktor yang memperkuat permasalahan tersebut, terutama dalam konteks negara berkembang.

Lebih jauh, temuan penelitian ini menegaskan bahwa evolusi metodologi informatika tidak hanya ditentukan oleh kemajuan teknologi, tetapi juga oleh perubahan paradigma dalam cara pengetahuan dikonstruksi dan dimanfaatkan. Dengan kata lain, perkembangan metodologi tidak dapat dilepaskan dari dinamika epistemologis yang melatarbelakangkannya.

Kontribusi kebaruan penelitian ini terletak pada upaya mengintegrasikan tiga aspek utama, yaitu tren metodologi, tantangan penelitian, dan arah pengembangan masa depan, ke dalam satu kerangka analisis yang terpadu. Pendekatan ini menawarkan perspektif yang lebih komprehensif dibandingkan dengan studi sebelumnya yang cenderung membahas aspek-aspek tersebut secara terpisah.

Ke depan, metodologi penelitian informatika diperkirakan akan semakin mengarah pada integrasi kecerdasan buatan dalam proses penelitian, peningkatan transparansi melalui penerapan *open science*, serta penguatan pendekatan interdisipliner yang lebih sensitif terhadap dimensi sosial dan etika. Arah ini menunjukkan bahwa penelitian informatika tidak hanya dituntut untuk unggul secara teknis, tetapi juga mampu merespons kompleksitas kebutuhan dan nilai dalam masyarakat yang terus berkembang.

.

VI. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metodologi penelitian dalam bidang informatika tengah mengalami transformasi yang signifikan menuju pendekatan yang semakin *data-driven*, kompleks, dan interdisipliner. Dominasi metode kuantitatif merefleksikan orientasi yang kuat terhadap pengembangan model serta evaluasi kinerja sistem, sementara meningkatnya adopsi metode campuran mengindikasikan kebutuhan akan pemahaman yang lebih menyeluruh terkait interaksi antara teknologi dan manusia.

Selain itu, hasil penelitian ini mengungkap sejumlah tantangan utama dalam metodologi informatika, antara lain meningkatnya kompleksitas data, rendahnya tingkat *reproducibility*, serta keterbatasan dalam mengintegrasikan dimensi sosial dan etika dalam penelitian berbasis teknologi. Temuan tersebut menegaskan bahwa perkembangan metodologi tidak semata bersifat teknis, melainkan juga berkaitan erat dengan perubahan paradigma dalam proses produksi pengetahuan di era digital.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pengembangan suatu kerangka konseptual yang mengintegrasikan tren metodologi, tantangan penelitian, dan arah pengembangan ke depan dalam satu model analisis yang komprehensif. Kerangka ini menawarkan perspektif yang lebih terstruktur dalam memahami dinamika evolusi metodologi penelitian informatika.

Dengan demikian, penelitian ini menegaskan pentingnya pengembangann metodologi penelitian informatika yang lebih adaptif, transparan, dan kontekstual di masa mendatang, sehingga mampu merespons kompleksitas tantangan dalam ekosistem digital yang terus berkembang.

Author Contributions: [Noera Khairiyati Zulkarnaen]: *Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan - Draf Asli, Penulisan - Tinjauan & Penyuntingan, Supervisi.* [Nadiva Qolbi]: *Perangkat Lunak, Investigasi, Kurasi Data, Penulisan - Draf Asli.*

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia

Ketersediaan Data: -

Penulis Pertama: <https://orcid.org/0000-0001-9088-9128>

Penulis Kedua: <https://orcid.org/0000-0001-9088-9128>

Penulis Ketiga: -

REFERENSI

- [1] S. Pawar, "IoT Solutions in Agriculture: Enhancing Efficiency and Productivity," *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, pp. 3388–3390, Jun. 2024, doi: 10.38124/ijisrt/IJISRT24MAY2442.
- [2] S. Lu, J. Lu, K. An, X. Wang, and Q. He, "Edge Computing on IoT for Machine Signal Processing and Fault Diagnosis: A Review," *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 13, pp. 11093–11116, Jul. 2023, doi: 10.1109/JIOT.2023.3239944.
- [3] B. Rana, Y. Singh, P. Kumar Singh, and W.-C. Hong, "A Priority Based Energy-Efficient Metaheuristic Routing Approach for Smart Healthcare System (SHS)," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 85694–85708, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3411564.
- [4] S. Hudda, K. Haribabu, and R. Barnwal, "Energy efficient data communication for WSN based resource constrained IoT devices," *Internet of Things*, vol. 27, p. 101329, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.iot.2024.101329.
- [5] M. Saleem *et al.*, "Integrating Smart Energy Management System with Internet of Things and Cloud Computing for Efficient Demand Side Management in Smart Grids," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 12, p. 4835, Jun. 2023, doi: 10.3390/en16124835.
- [6] L. Wu, P. Liu, J. Qu, C. Zhang, and B. Zhang, "Duty Cycle Scheduling in Wireless Sensor Networks Using an Exploratory Strategy-Directed MADDPG Algorithm," *International Journal of Sensors and Sensor Networks*, vol. 12, no. 1, pp. 1–12, Feb. 2024, doi: 10.11648/j.ijssn.20241201.11.
- [7] T. S. Tagare and R. Narendra, "Design and implementation of duty cycle-based futuristic clustering technique in WSN," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 34, no. 2, p. 951, May 2024, doi: 10.11591/ijeecs.v34.i2.pp951-959.
- [8] K. H. V. Prasad and S. Periyasamy, "Secure-Energy Efficient Bio-Inspired Clustering and Deep Learning-Based Routing Using Blockchain for Edge Assisted WSN Environment," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 145421–145440, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3345218.
- [9] O. Khalifa *et al.*, "Energy-Efficient Aerial Data Aggregation for IoT: From Prototyping to Large-Scale Implementation," *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 74, pp. 1–18, 2025, doi: 10.1109/TIM.2024.3497061.
- [10] S. Arisdakessian, O. A. Wahab, A. Mourad, H. Otrouk, and M. Guizani, "A Survey on IoT Intrusion Detection: Federated Learning, Game Theory, Social Psychology, and Explainable AI as Future Directions," *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 5, pp. 4059–4092, Mar. 2023, doi: 10.1109/JIOT.2022.3203249.
- [11] M. Albeladi, K. Jambi, F. E. Eassa, and M. Khemakhem, "Optimizing Energy Efficiency and Increasing Scalability in 6G-IoT Networks Through SDN, Duty Cycling, and AI-Driven Slicing," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 16, no. 9, 2025, doi: 10.14569/IJACSA.2025.0160988.
- [12] S. Safiuddin and F. P. E. Putra, "Strategi Efisiensi Wireless Sensor Network (WSN)," *INFORMATICS FOR EDUCATORS AND PROFESSIONAL : Journal of Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 52, Jul. 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2441.
- [13] A. Heidari, M. A. J. Jamali, N. J. Navimipour, and S. Akbarpour, "A QoS-Aware Technique for Computation Offloading in IoT-Edge Platforms Using a Convolutional Neural Network and Markov Decision Process," *IT Prof.*, vol. 25, no. 1, pp. 24–39, Jan. 2023, doi: 10.1109/MITP.2022.3217886.
- [14] C. Deng, X. Fang, and X. Wang, "UAV-Enabled Mobile-Edge Computing for AI Applications: Joint Model Decision, Resource Allocation, and Trajectory Optimization," *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 7, pp. 5662–5675, Apr. 2023, doi: 10.1109/JIOT.2022.3151619.
- [15] F. P. E. Putra, M. Surur, M. Mahendra, and G. Arifin, "Internet Network QOS Analysis at Yala Kopitiam pamekasan Using Wireshak," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 1, pp. 190–200, Jun. 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.5940.
- [16] N. Kumar and R. Beniwal, "Energy-Efficient Techniques in IoT-based Software-Defined Wireless Sensor Networks: A Systematic Review," in *2025 7th International Conference on Energy, Power and Environment (ICEPE)*, IEEE, May 2025, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICEPE65965.2025.11139460.
- [17] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, D. Mayangsari, and N. Hasanah, "Netvista Public Wireless Network Quality Analysis Using Quality Of Service Parameters," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 443–452, Aug. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4388.
- [18] S. Visishta, G. L. Krishna, M. U. Prabhas, A. Karthikeyan, and V. Srividhya, "Energy and Bandwidth Efficient Cluster Based Data Aggregation for Lifetime Improvement of IoT based Wireless Sensor Networks," in *2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence For Internet of Things (AIIoT)*, IEEE, May 2024, pp. 1–6, doi: 10.1109/AIIoT58432.2024.10574698.
- [19] F. P. E. Putra, M. Surur, M. Mahendra, and G. Arifin, "Internet Network QOS Analysis at Yala Kopitiam pamekasan Using Wireshak," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 1, pp. 190–200, Jun. 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.5940.
- [20] A. Patil and J. Kendule, "IoT-based Battery Health Monitoring and Its Remaining Useful Life Prediction using Artificial Neural Network," in *2024 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)*, IEEE, Feb. 2024, pp. 1–5, doi: 10.1109/SCEECS61402.2024.10481911.
- [21] S. Chakravarty and T. Acharya, "Sleep Scheduling Based Protocol design for delay tolerant traffic in RF energy harvesting IoT network," in *2022 IEEE 19th International Conference on Smart Communities: Improving Quality of Life Using ICT, IoT and AI (HONET)*, IEEE, Dec. 2022, pp. 157–159, doi: 10.1109/HONET56683.2022.10019123.

- [22] S. A. Latif, M. Driberg, S. Sarang, A. Abd Aziz, R. Ahmad, and G. M. Stojanović, “A Reinforcement Learning-Based Intelligent Duty Cycle MAC Protocol for Internet of Things,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 156170–156187, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3606053.
- [23] S. Sarang, G. M. Stojanović, M. Driberg, S. Stankovski, K. Bingi, and V. Jeoti, “Machine Learning Prediction Based Adaptive Duty Cycle MAC Protocol for Solar Energy Harvesting Wireless Sensor Networks,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 17536–17554, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3246108.
- [24] N. Charef, M. Abdelhafidh, A. Ben Mnaouer, K. Andersson, and S. Cherkaoui, “RL-Based Adaptive Duty Cycle Scheduling in WSN-Based IoT Nets,” in *GLOBECOM 2023 - 2023 IEEE Global Communications Conference*, IEEE, Dec. 2023, pp. 3777–3782. doi: 10.1109/GLOBECOM54140.2023.10437207.
- [25] P. Bulić, G. Kojek, and A. Biasizzo, “Data Transmission Efficiency in Bluetooth Low Energy Versions,” *Sensors*, vol. 19, no. 17, p. 3746, Aug. 2019, doi: 10.3390/s19173746.
- [26] S. Gautam and S. Kumar, “BLE Extended Advertisements for Energy Efficient and Reliable Transfer of Large Sensor Data in Monitoring Applications,” *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, vol. 9, no. 3, pp. 1092–1106, Sep. 2025, doi: 10.1109/TGCN.2024.3523673.
- [27] A. Vatankeh and R. Liscano, “QoS-Aware Energy-Efficient Time-Slotted Channel Hopping Scheduling Algorithm,” in *ICC 2025 - IEEE International Conference on Communications*, IEEE, Jun. 2025, pp. 3538–3544. doi: 10.1109/ICC52391.2025.11161043.
- [28] S. Safiuddin and F. P. E. Putra, “Strategi Efisiensi Wireless Sensor Network (WSN),” *INFORMATICS FOR EDUCATORS AND PROFESSIONAL : Journal of Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 52, Jul. 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2441.
- [29] B. Ji, H. Tang, J. Yao, and F. Hong, “A Full Duty Cycle Range Soft-Switching High Frequency and High-Efficiency Dual-Buck-ZVT Inverter,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 72, no. 12, pp. 12706–12718, Dec. 2025, doi: 10.1109/TIE.2025.3569968.
- [30] G. R. R. Dewa, C. Park, and I. Sohn, “Priority-Aware Scheduling for High-Dense Healthcare IoT (H-IoT) Networks Using Message-Passing Algorithm,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 12, pp. 21604–21619, Jun. 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3375322.
- [31] A. Rani, R. Kumar, and A. Ram, “An Energy Efficiency Enhanced through Duty Cycle based on Clusters in Wireless Body Area Network,” in *2024 3rd International conference on Power Electronics and IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC)*, IEEE, Feb. 2024, pp. 47–51. doi: 10.1109/PARC59193.2024.10486791.
- [32] S. Khan, T. Mazhar, T. Shahzad, Y. Y. Ghadi, and H. Hamam, “Integrating IoT and WSN: Enhancing quality of service through energy efficiency, scalability, and secure communication in smart systems,” *Peer Peer Netw Appl*, vol. 18, no. 5, p. 249, Sep. 2025, doi: 10.1007/s12083-025-02070-0.
- [33] A. M. Jadhav, P. Ranpise, and O. Jadhav, “Optimizing Power Consumption in IoT Sensor Systems through Adaptive Duty Cycling with Intelligent Automated Switching,” *International Journal of Environment and Climate Change*, vol. 15, no. 4, pp. 119–133, Apr. 2025, doi: 10.9734/ijec/2025/v15i44797.
- [34] K. Das, N. N. Devi, and S. Moulik, “EADA: Energy-Aware Adaptive Duty-Cycle Adjustment in Superframe for IEEE 802.15.6-Based Wireless Body Area Networks,” *IEEE Sens Lett*, vol. 8, no. 8, pp. 1–4, Aug. 2024, doi: 10.1109/LENS.2024.3432161.
- [35] P. Kumar, R. Kumar, A. Kumar, A. A. Franklin, S. Garg, and S. Singh, “Retracted: Blockchain and Deep Learning for Secure Communication in Digital Twin Empowered Industrial IoT Network,” *IEEE Trans Netw Sci Eng*, vol. 10, no. 5, pp. 2802–2813, Sep. 2023, doi: 10.1109/TNSE.2022.3191601.
- [36] W. He, M. J. A. Baig, and M. T. Iqbal, “An Internet of Things—Supervisory Control and Data Acquisition (IoT-SCADA) Architecture for Photovoltaic System Monitoring, Control, and Inspection in Real Time,” *Electronics (Basel)*, vol. 14, no. 1, p. 42, Dec. 2024, doi: 10.3390/electronics14010042.
- [37] F. P. Eka Putra, Ach. M. Ubaidillah Solichin, Moh. N. Wildanul Hakim, and M. T. Ramadhan, “Pemanfaatan Teknologi Wireless dan Mobile Network Berbasis 5G Untuk Pemerataan Akses Jaringan di Indonesia,” *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 8, no. 2, pp. 415–425, Jul. 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30559.
- [38] M. Saban *et al.*, “A Smart Agricultural System Based on PLC and a Cloud Computing Web Application Using LoRa and LoRaWan,” *Sensors*, vol. 23, no. 5, p. 2725, Mar. 2023, doi: 10.3390/s23052725.
- [39] F. P. Eka Putra, A. Baidawi, A. A. Mubarak, and Frediyanto, “Merancang Jaringan Sensor Nirkabel dan IoT untuk Kota Pintar Pamekasan,” *Jurnal Informasi dan Teknologi*, pp. 138–145, Jul. 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.331.
- [40] Md. N. Mowla, A. F. M. S. Shah, K. M. Rabie, and T. Shongwe, “Internet of Things and Wireless Sensor Networks for Smart Agriculture Applications: A Survey,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 145813–145852, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3346299.
- [41] X. Deng, J. Yin, P. Guan, N. N. Xiong, L. Zhang, and S. Mumtaz, “Intelligent Delay-Aware Partial Computing Task Offloading for Multiuser Industrial Internet of Things Through Edge Computing,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 4, pp. 2954–2966, Feb. 2023, doi: 10.1109/JIOT.2021.3123406.
- [42] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, R. N. Saputra, F. M. Haris, and S. N. R. Barokah, “Application of Internet of Things Technology in Monitoring Water Quality in Fishponds,” *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 356–361, Jul. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4231.
- [43] S. He, Q. Li, M. Khishe, A. Salih Mohammed, H. Mohammadi, and M. Mohammadi, “The optimization of nodes clustering and multi-hop routing protocol using hierarchical chimp optimization for sustainable energy efficient underwater wireless sensor networks,” *Wireless Networks*, vol. 30, no. 1, pp. 233–252, Jan. 2024, doi: 10.1007/s11276-023-03464-9.
- [44] S. Khriji, R. Chéour, and O. Kanoun, “Dynamic Voltage and Frequency Scaling and Duty-Cycling for Ultra Low-Power Wireless Sensor Nodes,” *Electronics (Basel)*, vol. 11, no. 24, p. 4071, Dec. 2022, doi: 10.3390/electronics11244071.
- [45] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, M. A. Huda, H. Hasbullah, and A. Rohman, “Computer Network Management Optimization Through Big Data Analysis Using Time Series Analysis Method,” *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 434–442, Aug. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4373.
- [46] X. Huang *et al.*, “Lithium-Ion Battery Lifetime Extension With Positive Pulsed Current Charging,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 71, no. 1, pp. 484–492, Jan. 2024, doi: 10.1109/TIE.2023.3250850.
- [47] F. P. Eka Putra, I. N. Sudana Degeng, S. Ulfa, and W. Kamdi, “The Evolution of Quality Education: Impacts and Challenges of Using Open Educational Resources (OER) and Open Educational Practices (OEP) in the Conceive - Design - Implement - Operate (CDIO) Framework,” *TEM Journal*, pp. 386–395, Feb. 2024, doi: 10.18421/TEM131-40.
- [48] F. P. Eka Putra, L. Fitriyah, Z. Naimah, and S. A. Rofika, “Evaluasi Kinerja Aplikasi Wireshark Dalam Monitoring Jaringan Kecil Dengan Topologi Star dan Bus,” *Jurnal Ilmiah ILKOMINFO - Ilmu Komputer & Informatika*, vol. 8, no. 2, pp. 164–176, Jul. 2025, doi: 10.47324/ilkominfo.v8i2.343.

- [49] V. Nkemeni, F. Mieleveville, and P. Tsafack, "Energy Consumption Reduction in Wireless Sensor Network-Based Water Pipeline Monitoring Systems via Energy Conservation Techniques," *Future Internet*, vol. 15, no. 12, p. 402, Dec. 2023, doi: 10.3390/fi15120402.
- [50] C. Portillo, J. Martinez-Bauset, V. Pla, and V. Casares-Giner, "Energy Consumption Modeling for Heterogeneous Internet of Things Wireless Sensor Network Devices: Entire Modes and Operation Cycles Considerations," *Telecom*, vol. 5, no. 3, pp. 723–746, Aug. 2024, doi: 10.3390/telecom5030036.
- [51] G. Kaur, V. Balyan, and S. H. Gupta, "Experimental analysis of low-duty cycle campus deployed IoT network using LoRa technology," *Results in Engineering*, vol. 23, p. 102844, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102844.