

Klasifikasi Penyakit Daun Mangga Berbasis Convolutional Neural Network (CNN) Menggunakan Citra dari Kamera Smartphone

Achmad Rofiqi ^{1)*} , Debri Eko Arissandi ²⁾ 

¹⁾²⁾Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾achmadrofiqi33@gmail.com, ²⁾ debriekoarissandi123@gmail.com

Abstract

Penyakit pada daun mangga merupakan salah satu faktor utama yang dapat menurunkan produktivitas dan kualitas hasil panen. Deteksi penyakit daun mangga secara konvensional masih banyak dilakukan melalui pengamatan visual, yang bersifat subjektif dan bergantung pada pengalaman petani atau tenaga ahli. Oleh karena itu, diperlukan metode otomatis yang mampu melakukan identifikasi penyakit secara cepat dan akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem klasifikasi penyakit daun mangga berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) menggunakan citra yang diperoleh dari kamera smartphone. Data penelitian berupa citra daun mangga yang terdiri dari beberapa kelas, termasuk daun sehat dan daun dengan berbagai jenis penyakit. Citra diperoleh melalui pengambilan langsung menggunakan kamera smartphone pada kondisi pencahayaan yang bervariasi. Tahapan penelitian meliputi pra-pemrosesan citra, penerapan teknik *data augmentation*, perancangan arsitektur CNN, proses pelatihan model, serta evaluasi kinerja model. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik akurasi, presisi, recall, dan *F1-score*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model CNN mampu mengklasifikasikan penyakit daun mangga dengan tingkat akurasi yang tinggi dan memiliki kemampuan generalisasi yang baik terhadap variasi kondisi citra. Pemanfaatan kamera smartphone sebagai sumber data citra menjadikan sistem ini praktis dan mudah diimplementasikan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan sistem deteksi dini penyakit tanaman mangga berbasis teknologi kecerdasan buatan untuk mendukung pertanian cerdas.

Keywords: Klasifikasi Penyakit Daun Mangga, Convolutional Neural Network (CNN), Citra Smartphone

Article history: Received 5 April 2025, first decision 22 April 2025, accepted 22 August 2025, available online 28 October 2025

I. PENDAHULUAN

Mangga (*Mangifera indica* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura utama di Indonesia yang memiliki nilai ekonomi dan konsumsi yang tinggi. Produktivitas tanaman mangga sangat dipengaruhi oleh kondisi kesehatan tanaman, terutama pada bagian daun yang berperan penting dalam proses fotosintesis dan metabolisme. Serangan penyakit pada daun mangga, seperti antraknosa, bercak daun, dan embun jelaga, dapat menyebabkan penurunan kualitas buah, berkurangnya hasil panen, bahkan kematian tanaman apabila tidak ditangani secara tepat dan dini [1], [2], [3], [4]. Pada praktiknya, proses identifikasi penyakit daun mangga masih banyak dilakukan secara manual melalui pengamatan visual. Metode konvensional ini memiliki sejumlah keterbatasan, antara lain bergantung pada pengalaman dan pengetahuan petani atau pakar, bersifat subjektif, serta kurang efektif apabila diterapkan pada skala lahan yang luas [5], [6], [7]. Selain itu, keterbatasan jumlah tenaga ahli pertanian dan akses informasi di daerah tertentu sering menyebabkan keterlambatan dalam diagnosis penyakit, sehingga penanganan yang dilakukan menjadi kurang optimal. Seiring dengan perkembangan teknologi, penerapan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), khususnya pada bidang pengolahan citra digital, menjadi salah satu solusi potensial dalam mendukung sistem diagnosis penyakit tanaman. *Convolutional Neural Network* (CNN) merupakan salah satu metode *deep learning* yang terbukti efektif dalam melakukan ekstraksi fitur dan klasifikasi citra secara otomatis. CNN telah banyak diaplikasikan dalam berbagai penelitian untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan penyakit tanaman dengan tingkat akurasi yang tinggi [8], [9], [10], [11], sehingga berpotensi menggantikan atau mendukung metode identifikasi manual.

Pemanfaatan kamera smartphone sebagai alat akuisisi citra menjadi pendekatan yang relevan dan aplikatif. Saat ini, smartphone telah dilengkapi dengan kamera beresolusi tinggi yang mampu menangkap detail visual objek secara

* Achmad Rofiqi

memadai. Penggunaan citra dari kamera smartphone memungkinkan sistem klasifikasi penyakit daun mangga untuk diterapkan secara luas, murah [12], [13], [14], [15], dan mudah diakses oleh petani tanpa memerlukan perangkat khusus atau mahal. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi model klasifikasi penyakit daun mangga berbasis *Convolutional Neural Network* menggunakan citra yang diambil dari kamera smartphone. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem deteksi penyakit tanaman yang akurat, efisien, dan mudah diimplementasikan [16], [17], [18], [19], serta menjadi dasar bagi pengembangan aplikasi pendukung keputusan di bidang pertanian presisi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Penyakit Daun Mangga

Tanaman mangga (*Mangifera indica* L.) rentan terhadap berbagai jenis penyakit yang menyerang bagian daun dan dapat memengaruhi pertumbuhan serta produktivitas tanaman. Beberapa penyakit daun mangga yang umum dijumpai antara lain antraknosa, bercak daun, embun jelaga, dan penyakit akibat infeksi jamur maupun bakteri. Gejala penyakit tersebut biasanya ditandai dengan perubahan warna daun, munculnya bercak, tekstur permukaan yang tidak normal, serta kerusakan jaringan daun [20], [21], [22]. Deteksi dini terhadap penyakit daun mangga sangat penting untuk mencegah penyebaran penyakit dan meminimalkan kerugian hasil panen.

2. Pengolahan Citra Digital pada Identifikasi Penyakit Tanaman

Pengolahan citra digital merupakan salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam bidang pertanian cerdas (*smart agriculture*), khususnya untuk identifikasi dan klasifikasi penyakit tanaman. Teknik ini memanfaatkan citra digital sebagai sumber data untuk mengekstraksi informasi visual seperti warna, tekstur, dan bentuk objek. Pada penelitian terdahulu, metode pengolahan citra sering dikombinasikan dengan teknik *machine learning* konvensional seperti *Support Vector Machine* (SVM), *K-Nearest Neighbor* (KNN), dan *Naïve Bayes* [23], [24], [25], [26]. Meskipun metode tersebut cukup efektif, proses ekstraksi fitur biasanya dilakukan secara manual sehingga memerlukan perancangan fitur yang kompleks dan berpotensi memengaruhi akurasi sistem.

3. Convolutional Neural Network (CNN)

Convolutional Neural Network (CNN) merupakan salah satu arsitektur *deep learning* yang dirancang khusus untuk menangani data berbentuk citra. CNN mampu melakukan ekstraksi fitur secara otomatis melalui beberapa lapisan, seperti *convolution layer*, *pooling layer*, dan *fully connected layer*. Keunggulan utama CNN terletak pada kemampuannya dalam mengenali pola visual yang kompleks tanpa memerlukan perancangan fitur secara manual. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa CNN memiliki performa yang lebih baik dibandingkan metode *machine learning* tradisional dalam tugas klasifikasi citra [27], [28], [29], [30], termasuk pada bidang deteksi penyakit tanaman.

4. Penerapan CNN pada Klasifikasi Penyakit Daun

Penerapan CNN dalam klasifikasi penyakit daun tanaman telah banyak dilakukan dan menunjukkan hasil yang menjanjikan. Beberapa penelitian menggunakan arsitektur CNN populer seperti AlexNet, VGG, ResNet, dan MobileNet untuk mengklasifikasikan penyakit pada daun padi, jagung, tomat, dan apel. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa CNN mampu mencapai tingkat akurasi yang tinggi dalam mengidentifikasi berbagai jenis penyakit daun, bahkan pada kondisi pencahayaan dan latar belakang yang bervariasi. Penggunaan *data augmentation* dan *transfer learning* juga terbukti dapat meningkatkan kinerja model [31], [32], [33], [34], [35], terutama ketika jumlah data pelatihan terbatas.

5. Pemanfaatan Kamera Smartphone sebagai Sumber Citra

Penggunaan kamera smartphone sebagai sumber akuisisi citra semakin banyak diterapkan dalam penelitian di bidang pertanian digital. Smartphone memiliki keunggulan dari sisi ketersediaan, kemudahan penggunaan, serta kualitas kamera yang semakin baik. Beberapa studi menunjukkan bahwa citra yang diambil menggunakan kamera smartphone dapat digunakan secara efektif dalam sistem klasifikasi penyakit tanaman berbasis CNN [36], [37], [38]. Pendekatan ini dinilai lebih aplikatif dan ekonomis, sehingga berpotensi untuk diimplementasikan secara langsung oleh petani di lapangan sebagai sistem pendukung pengambilan keputusan.

6. Kesenjangan Penelitian (Research Gap)

Meskipun penelitian mengenai klasifikasi penyakit daun tanaman berbasis CNN telah banyak dilakukan, kajian khusus terhadap penyakit daun mangga dengan memanfaatkan citra dari kamera smartphone masih relatif terbatas. Selain itu, variasi kondisi pengambilan citra di lingkungan nyata, seperti pencahayaan dan latar belakang, masih

menjadi tantangan dalam meningkatkan akurasi model [39], [40]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang secara khusus mengkaji efektivitas CNN dalam mengklasifikasikan penyakit daun mangga menggunakan citra smartphone sebagai upaya pengembangan sistem diagnosis yang lebih praktis dan adaptif.

III. METODE

A. Pengumpulan Data

Data penelitian berupa citra daun mangga yang diambil menggunakan kamera smartphone dengan resolusi tinggi. Pengambilan citra dilakukan pada beberapa kondisi pencahayaan dan latar belakang untuk merepresentasikan kondisi nyata di lapangan [41], [42], [43]. Dataset terdiri dari beberapa kelas, yaitu daun mangga sehat dan daun mangga dengan berbagai jenis penyakit. Seluruh citra kemudian diberi label sesuai dengan jenis penyakitnya untuk keperluan pelatihan dan pengujian model.

B. Pra-Pemrosesan Data

Tahap pra-pemrosesan dilakukan untuk meningkatkan kualitas citra dan menyesuaikannya dengan kebutuhan model CNN. Proses ini meliputi *resize* citra ke ukuran tertentu, normalisasi nilai piksel, serta pembagian dataset menjadi data latih, data validasi, dan data uji [44], [45]. Selain itu, teknik *data augmentation* seperti rotasi, *flip*, dan perubahan kecerahan diterapkan untuk meningkatkan keragaman data dan mengurangi risiko *overfitting*.

C. Perancangan Model Convolutional Neural Network

Model CNN dirancang dengan beberapa lapisan utama, yaitu *convolution layer* untuk ekstraksi fitur, *pooling layer* untuk mengurangi dimensi data, serta *fully connected layer* untuk proses klasifikasi [46]. Fungsi aktivasi yang digunakan adalah ReLU pada lapisan tersembunyi dan *softmax* pada lapisan output untuk menghasilkan probabilitas setiap kelas penyakit. Arsitektur CNN disesuaikan agar tetap efisien dan memungkinkan untuk diimplementasikan pada perangkat berbasis smartphone.

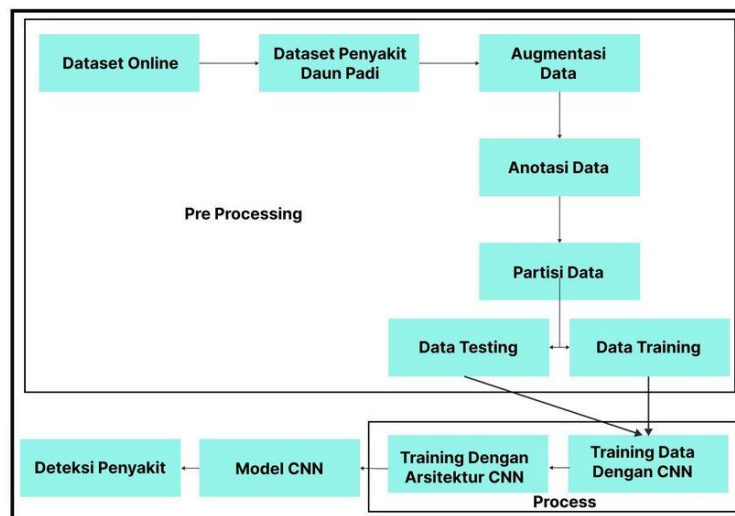
D. Pelatihan Model

Proses pelatihan model dilakukan menggunakan data latih dengan parameter tertentu, seperti *learning rate*, jumlah *epoch*, dan ukuran *batch*. Selama pelatihan, model dioptimalkan menggunakan fungsi *loss categorical cross-entropy* dan algoritma optimasi seperti Adam [47], [48]. Data validasi digunakan untuk memantau performa model dan mencegah terjadinya *overfitting*.

E. Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan menggunakan data uji yang tidak digunakan selama proses pelatihan. Kinerja model diukur menggunakan metrik evaluasi seperti akurasi, presisi, recall, dan *F1-score*. Hasil evaluasi digunakan untuk menilai kemampuan model CNN dalam mengklasifikasikan penyakit daun mangga secara akurat berdasarkan citra dari kamera smartphone [49], [50], [51], [52].

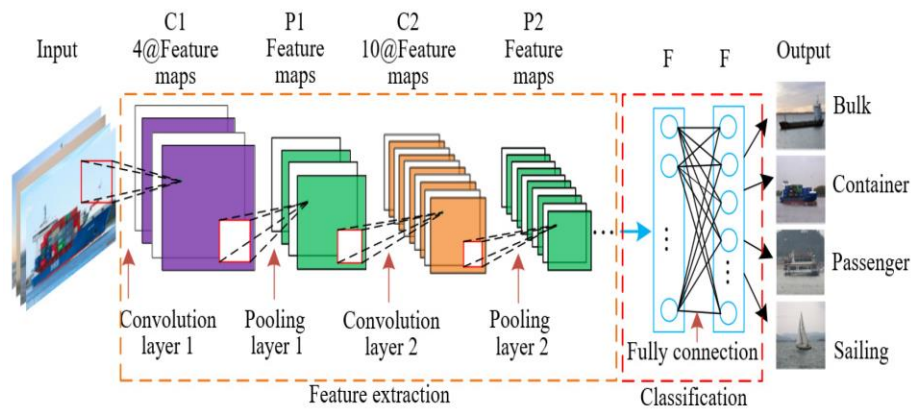
F. Alur Penelitian



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Cnn



Gambar 2. Daun Mangga Objek Detection



Gambar 3. Penerapan Convolutional Neural Network

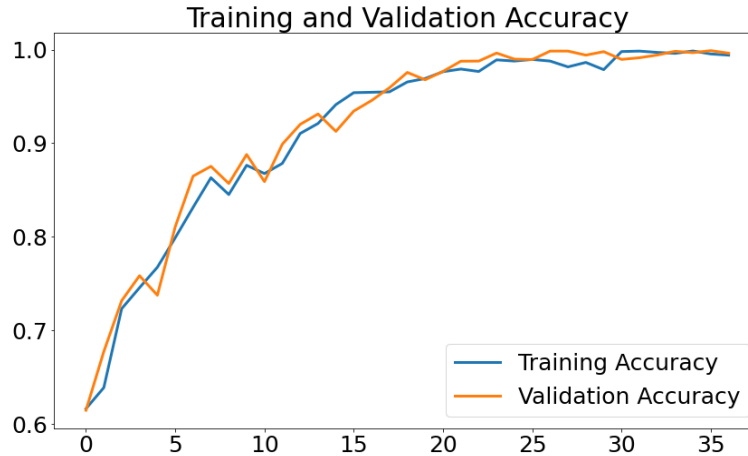
Gambar-gambar tersebut menggambarkan alur penelitian secara umum, contoh dataset citra daun mangga, serta struktur dasar arsitektur CNN yang digunakan dalam proses klasifikasi penyakit daun mangga.

IV. HASIL

Penelitian ini menghasilkan model Klasifikasi Penyakit Daun Mangga berbasis Convolutional Neural Network (CNN) dengan memanfaatkan citra smartphone sebagai sumber data utama. Hasil penelitian disajikan berdasarkan performa model, kemampuan identifikasi visual terhadap kelas penyakit, serta evaluasi terhadap citra uji lapangan.

- Hasil Pelatihan dan Pengujian Model

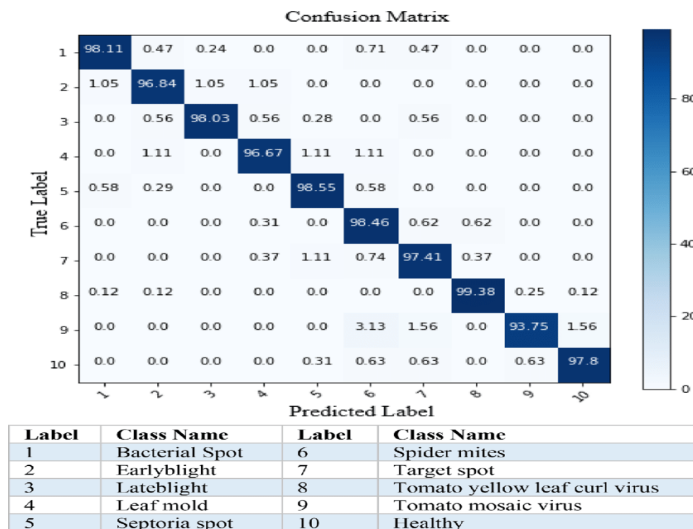
Proses pelatihan model CNN dilakukan menggunakan data latih dan data validasi. Selama proses pelatihan, model menunjukkan peningkatan nilai akurasi serta penurunan nilai loss secara bertahap pada setiap *epoch*. Hal ini mengindikasikan bahwa model mampu mempelajari pola visual pada citra daun mangga dengan baik. Nilai akurasi pelatihan dan validasi yang relatif stabil serta tidak menunjukkan selisih yang signifikan menandakan bahwa model tidak mengalami *overfitting* secara berlebihan.



Gambar 4 Accuracy and loss Graph of CNN

Gambar tersebut menunjukkan grafik perubahan nilai akurasi dan *loss* selama proses pelatihan dan validasi model CNN.

- Hasil Evaluasi Model pada Data Uji
Evaluasi model dilakukan menggunakan data uji untuk mengukur kemampuan generalisasi model terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Berdasarkan hasil pengujian, model CNN mampu mengklasifikasikan penyakit daun mangga ke dalam beberapa kelas dengan tingkat akurasi yang tinggi. Selain akurasi, metrik evaluasi lain seperti presisi, recall, dan *F1-score* juga menunjukkan nilai yang baik pada setiap kelas, yang menandakan bahwa model mampu membedakan antara daun sehat dan daun yang terinfeksi penyakit secara efektif.



Gambar 5 Confusion Matrix Obtained for Plant Disease Detection

Confusion matrix digunakan untuk melihat distribusi prediksi model terhadap setiap kelas penyakit daun mangga. Hasil menunjukkan sebagian besar citra terklasifikasi dengan benar, meskipun masih terdapat beberapa kesalahan klasifikasi pada kelas dengan karakteristik visual yang mirip.

V. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *Convolutional Neural Network* (CNN) mampu mengklasifikasikan penyakit daun mangga menggunakan citra yang diperoleh dari kamera smartphone dengan tingkat kinerja yang baik. Peningkatan nilai akurasi dan penurunan nilai *loss* selama proses pelatihan mengindikasikan bahwa model berhasil

mempelajari karakteristik visual daun mangga, seperti pola bercak, perubahan warna, dan tekstur permukaan daun yang menjadi ciri khas masing-masing penyakit. Penggunaan citra dari kamera smartphone terbukti cukup efektif sebagai sumber data masukan. Meskipun citra diambil pada kondisi pencahayaan dan latar belakang yang bervariasi, model CNN masih mampu melakukan klasifikasi dengan tingkat ketepatan yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa CNN memiliki kemampuan generalisasi yang baik terhadap variasi kondisi pengambilan citra, terutama setelah diterapkan teknik pra-pemrosesan dan *data augmentation*. Temuan ini sejalan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa CNN mampu mengatasi kompleksitas data citra tanpa memerlukan ekstraksi fitur secara manual.

Berdasarkan hasil *confusion matrix*, kesalahan klasifikasi yang terjadi umumnya terdapat pada kelas penyakit yang memiliki karakteristik visual yang mirip, seperti perbedaan tingkat keparahan bercak atau warna daun yang tidak terlalu kontras. Hal ini mengindikasikan bahwa keterbatasan jumlah data pada beberapa kelas serta kemiripan pola visual antar penyakit masih menjadi tantangan dalam meningkatkan performa model. Penambahan jumlah data latih dan variasi citra pada masing-masing kelas berpotensi meningkatkan kemampuan model dalam membedakan penyakit dengan karakteristik yang serupa. Dari sisi arsitektur, model CNN yang digunakan telah menunjukkan keseimbangan antara kompleksitas dan kinerja. Model yang relatif ringan memungkinkan penerapan pada perangkat dengan sumber daya terbatas, seperti smartphone, tanpa mengorbankan akurasi secara signifikan. Hal ini penting untuk mendukung pengembangan sistem deteksi penyakit tanaman yang bersifat portabel dan mudah diimplementasikan di lapangan. Pemilihan arsitektur CNN yang efisien menjadi faktor penting dalam memastikan sistem dapat digunakan secara praktis oleh petani.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode *Convolutional Neural Network* (CNN) mampu digunakan secara efektif untuk mengklasifikasikan penyakit daun mangga menggunakan citra yang diperoleh dari kamera smartphone. Model CNN yang dikembangkan menunjukkan kinerja yang baik dalam mengenali pola visual pada daun mangga, seperti perubahan warna, tekstur, dan bercak yang menjadi ciri khas masing-masing penyakit. Penerapan pra-pemrosesan citra dan teknik *data augmentation* terbukti membantu meningkatkan kemampuan generalisasi model terhadap variasi kondisi pengambilan citra, termasuk perbedaan pencahayaan dan latar belakang. Hasil evaluasi menggunakan data uji menunjukkan bahwa model CNN mampu mencapai tingkat akurasi yang tinggi serta nilai presisi, recall, dan *F1-score* yang baik pada setiap kelas, sehingga dapat membedakan daun mangga sehat dan daun yang terinfeksi penyakit secara efektif. Pemanfaatan kamera smartphone sebagai sumber akuisisi citra memberikan nilai tambah dari sisi kepraktisan dan aksesibilitas. Pendekatan ini memungkinkan sistem klasifikasi penyakit daun mangga untuk diterapkan secara luas oleh petani tanpa memerlukan perangkat khusus atau mahal. Dengan demikian, penelitian ini berpotensi mendukung pengembangan sistem deteksi dini penyakit tanaman yang cepat, akurat, dan mudah digunakan di lapangan. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti jumlah dan variasi dataset yang terbatas serta belum dilakukannya implementasi sistem secara real-time pada aplikasi mobile. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas dataset, mengeksplorasi penggunaan arsitektur CNN yang lebih efisien melalui *transfer learning*, serta mengintegrasikan model ke dalam aplikasi berbasis smartphone guna meningkatkan manfaat praktis bagi pengguna.

Kontribusi Penulis : Achmad Rofiqi: Conceptualization, Methodology, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing, Supervision. **Debri Eko Arissandi:** Software, Investigation, Data Curation, Writing - Original Draft.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan.

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data: -

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis Pertama: [https:](https://orcid.org/) -

Penulis Kedua: [https:](https://orcid.org/) -

Penulis Ketiga: -

REFERENSI

- [1] F. P. E. Putra, A. B. Tamam, R. W. Efendi, and ..., "Optimasi Keamanan DNS: Eksplorasi Optimal dengan Implementasi DNS Security Extensions (DNSSEC)," *REMIK Ris. dan E ...*, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.polgan.ac.id/index.php/remik/article/view/13398>
- [2] F. P. E. Putra, F. Fauzan, S. Syirofi, M. Mursidi, D. Wahid, and A. Nuraini, "Sistem Pengendali Lingkungan Pertanian Dengan Wireless Sensor Network Untuk Mengoptimalkan Budidaya Hidroponik," 2024. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3461.
- [3] F. P. E. Putra, M. Ghummah, M. Amrullah, and R. Hidayatullah, "Studi Kinerja Mesh Network untuk Penerapan Internet of Things (IoT) di Lingkungan Perkotaan," 2025, *researchgate.net*.
- [4] F. P. E. Putra, D. A. M. Putra, A. Firdaus, and A. Hamzah, "Analisis Kecepatan Dan Kinerja Jaringan 5G (generasi ke 5) Pada Wilayah Perkotaan," *INFORMATICS Educ. Prof. J. Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 47, 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2439.
- [5] F. P. Eka Putra, F. Muslim, N. Hasanah, Holipah, R. Paradina, and R. Alim, "Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, pp. 63–72, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [6] F. P. Eka Putra, Amir Hamzah, W. Agel, and R. O. Firmansyah Kusuma, "Impelementasi Sistem Keamanan Jaringan Mikrotik Menggunakan Firewall Filtering dan Port Knocking," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, pp. 82–87, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.329.
- [7] F. P. Eka Putra, M. N. Arifin, K. Zulfana Imam, E. Saputra, and Sofiyullah, "Pengembangan Sistem Informasi Laboratorium Terintegrasi Sistem Akademik Menggunakan Agile Scrum," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 109–119, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.367.
- [8] F. P. E. Putra, D. E. Arissandi, A. Rofiqi, and M. F. Hidayat, "Pemanfaatan Mikrotik Dalam Manajemen Bandwidth Pada Jaringan Sekolah," 2025, *researchgate.net*. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Fauzan-Eka-Putra-2/publication/392420575_Pemanfaatan_Mikrotik_Dalam_Manajemen_Bandwidth_Pada_Jaringan_Sekolah/links/6848fab46b5a287c304a61ca/Pemanfaatan-Mikrotik-Dalam-Manajemen-Bandwidth-Pada-Jaringan-Sekolah.pdf
- [9] F. P. E. Putra, D. T. Agustina, T. S. K. Khotimah, and T. Ramadhanty, "Analisis Kinerja Jaringan 5G dalam Meningkatkan Konektivitas Internet of Things (IoT)," 2025, *researchgate.net*. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Fauzan-Eka-Putra-2/publication/392420839_Analisis_Kinerja_Jaringan_5G_dalam_Meningkatkan_Konektivitas_Internet_of_Things_IoT/links/6848f86cd0e3f544f5e49e9/Analisis-Kinerja-Jaringan-5G-dalam-Meningkatkan-Konektivitas-I
- [10] F. P. E. Putra, A. M. U. Solichin, and ..., "Pemanfaatan Teknologi Wireless dan Mobile Network Berbasis 5G Untuk Pemerataan Akses Jaringan di Indonesia," *Infotek J. ...*, 2025, [Online]. Available: <https://e-journal.hamzanwadi.ac.id/index.php/infotek/article/view/30559>
- [11] N. Muhammad Akbar, F. Prasetyo Eka Putra, K. Zulfana Imam, and M. Umar Mansyur, "Analisis Kinerja dan Interopabilitas STB Sebagai Server Penilaian Akhir Tahun," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 91–96, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.365.
- [12] W. Zhang, J. Liang, and X. Liang, "Approximation Algorithms for Computing Virtual Backbones Considering Routing Costs in Wireless Networks," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 32, no. 1, pp. 323–337, 2024, doi: 10.1109/TNET.2023.3284051.
- [13] J. Yang *et al.*, "Coalescence-induced jumping of droplets on superhydrophobic triangular prisms: Influence of structural parameters on dynamics and energy conversion using a three-dimensional lattice Boltzmann method," *Phys. Fluids*, vol. 37, no. 5, 2025, doi: 10.1063/5.0270547.
- [14] L. Calisti and E. Lattanzi, "Real-Time Energy-Efficient Sensor Libraries for Wearable Devices," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 126006–126018, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3430049.
- [15] D.-W. Park, D. R. Utomo, B. Yun, H. U. Mahmood, and S.-G. Lee, "A D-Band Power Amplifier in 65-nm CMOS by Adopting Simultaneous Output Power-and Gain-Matched Gmax-Core," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 99039–99049, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3096423.
- [16] G. Li, T. Shang, T. Tang, and Q. Li, "Maximizing effective secrecy throughput in SLIPT-based underwater wireless optical communication systems with artificial noise," *Appl. Opt.*, vol. 64, no. 18, pp. 5027–5036, 2025, doi: 10.1364/AO.558644.
- [17] J. Li, H. Xu, and Y. Wang, "Multiresolution Fusion Convolutional Network for Open Set Human Activity Recognition," *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 13, pp. 11369–11382, 2023, doi: 10.1109/IJOT.2023.3243476.
- [18] R. Elango and D. Maruthanayagam, "TRUXL: TRUST-BASED SECURE ROUTING AGAINST RPL ATTACKS IN IOT USING XGBOOST WITH CNN-LSTM," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 103, no. 16, pp. 6483–6503, 2025, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105016518184&partnerID=40&md5=278e4eb19f0a3aa4c16f361e66215481>
- [19] S. Sakraoui, M. Makhoulouf, A. Ahmim, R. Almukhlifi, M. Ahmim, and I. Ullah, "TL2AB : Trusted lightweight authentication using AI and blockchain for 6G networks," *Internet Things (The Netherlands)*, vol. 33, 2025, doi: 10.1016/j.iot.2025.101661.
- [20] W.-T. Sung, I. G. T. Isa, and S.-J. Sung-Jung, "Value Function Mechanism in WSNs-Based Mango Plantation Monitoring System," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 80, no. 3, pp. 3733–3759, 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.053634.
- [21] K. Song, H.-T. Huan, L.-C. Wei, and C.-X. Liu, "Performance analysis of a modified Archimedes spiral wind turbine having winglet on blade," *Energy*, vol. 333, 2025, doi: 10.1016/j.energy.2025.137389.
- [22] A. Shrotriya, A. Sharma, S. Prabhu, and A. Bairwa, "An Approach Toward Classifying Plant-Leaf Diseases and Comparisons With the Conventional Classification," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 117379–117398, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3411013.
- [23] H. Wang, J. Tao, and H. Li, "Pavement Crack Classification and Recognition Algorithm Combined With Tensor Voting and RANSAC," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 72117–72130, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3403893.
- [24] Z. Ren *et al.*, "Directly Preparable self-attached triboelectric nanogenerator on living plant leaf," *Nano Energy*, vol. 136, 2025, doi: 10.1016/j.nanoen.2025.110761.
- [25] I. Gorpevs, V. Jurkšans, and J. Blums, "Development of Wearable Multiple Source Energy-Harvesting System for Smart Clothing," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 100284–100294, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3313559.
- [26] D. Rao, T. Xu, and X. J. Wu, "TGFuse: An Infrared and Visible Image Fusion Approach Based on Transformer and Generative Adversarial Network," *IEEE Trans. Image Process.*, 2023, doi: 10.1109/TIP.2023.3273451.
- [27] X. Duan, Y. Chen, M. Li, Y. Rong, R. Xie, and J. Han, "UArch: A Super-Resolution Processor with Heterogeneous Triple-Core Architecture for Workloads of U-Net Networks," *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, vol. 17, no. 3, pp. 633–647, 2023, doi: 10.1109/TBCAS.2023.3261060.
- [28] R. Azad *et al.*, "Medical Image Segmentation Review: The Success of U-Net," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 46, no. 12, pp. 10076–10095, 2024, doi: 10.1109/TPAMI.2024.3435571.
- [29] Y. Song, Q. Zheng, B. Liu, and X. Gao, "EEG Conformer: Convolutional Transformer for EEG Decoding and Visualization," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 31, pp. 710–719, 2023, doi: 10.1109/TNSRE.2022.3230250.
- [30] X. Wang, Y. Ma, J. Cammon, F. Fang, Y. Gao, and Y. Zhang, "Self-Supervised EEG Emotion Recognition Models Based on CNN," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 31, pp. 1952–1962, 2023, doi: 10.1109/TNSRE.2023.3263570.

- [31] M. Azadimotlagh, N. Jafari, and R. Sharafadini, "Review on Architecture and Challenges in Smart Cities," *J. Inf. Syst. Telecommun.*, vol. 13, no. 1, pp. 33–49, 2025, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105006676229&partnerID=40&md5=ddbdcdf26331529b323aae79d9e5872e>
- [32] F.-R. Teng et al., "Multifunctional flexible multilayer pressure sensor for pressure sensing, energy harvesting and versatile applications," *Chem. Eng. J.*, vol. 522, 2025, doi: 10.1016/j.cej.2025.166937.
- [33] T. Pacini, E. Rapuano, and L. Fanucci, "FPG-AI: A Technology-Independent Framework for the Automation of CNN Deployment on FPGAs," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 32759–32775, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3263392.
- [34] M. A. Taher, M. Behnamfar, A. I. I Sarwat, and M. Tariq, "Wavelet and Signal Analyzer Based High-Frequency Ripple Extraction in the Context of MPPT Algorithm in Solar PV Systems," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 113726–113740, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3426289.
- [35] V.-D. Le, T.-C. Bui, and W.-S. Li, "Efficient ML Lifecycle Transferring for Large-Scale and High-Dimensional Data via Core Set-Based Dataset Similarity," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 73823–73838, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3296136.
- [36] H. Kim, H. Lim, D. J. Hwang, S. Kim, T. Kang, and S. K. Kim, "A systematic study of the evaporation performance of column-type 3D solar evaporators with variations in the surrounding temperatures," *Desalination*, vol. 592, 2024, doi: 10.1016/j.desal.2024.118077.
- [37] P. Guo, S. Xu, and W. Liang, "A cloud-assisted anonymous and privacy-preserving authentication scheme for internet of medical things," *Comput. Secur.*, vol. 157, 2025, doi: 10.1016/j.cose.2025.104614.
- [38] H. Jalajamony, S. De, and R. E. Fernandez, "NFC-Enabled Batteryless AI-Integrated Sensing Network for Smart PPE System," *IEEE Sens. J.*, vol. 24, no. 16, pp. 26914–26925, 2024, doi: 10.1109/JSEN.2024.3419442.
- [39] P. Katsikouli, D. Madariaga, A. C. Viana, A. Tarable, and M. Fiore, "DuctiLoc: Energy-Efficient Location Sampling With Configurable Accuracy," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 15375–15389, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3243731.
- [40] Q. Yan, G. Wang, D. Zhu, and J. Li, "FedIoT: Optimizing the Communication-Efficient Federated Learning Aggregation Algorithm Under Heterogeneous Data for Large-Scale IoT," *Int. J. Pattern Recognit. Artif. Intell.*, vol. 39, no. 11, 2025, doi: 10.1142/S0218001425520135.
- [41] M. A. Al Samara, I. Bennis, A. Abouaissa, and P. Lorenz, "SA-O2DCA: Seasonal Adapted Online Outlier Detection and Classification Approach for WSN," *J. Netw. Syst. Manag.*, vol. 32, no. 2, 2024, doi: 10.1007/s10922-024-09801-3.
- [42] Y. Dai, X. Jiang, K. Wang, and K. Li, "A phototunable self-oscillatory bistable seesaw via liquid crystal elastomer fibers," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 200, 2025, doi: 10.1016/j.chaos.2025.117041.
- [43] I. P. Patil, S. Chandrasekaran, P. A. Meher Prasad, and S. N. A. Sarinya, "Experimental investigation of TSUSUCA DOLPHIN under regular waves," *J. Ocean Eng. Mar. Energy*, vol. 11, no. 1, pp. 183–196, 2025, doi: 10.1007/s40722-024-00377-3.
- [44] I. Colbert, K. Kreutz-Delgado, and S. Das, "An energy-efficient edge computing paradigm for convolution-based image upsampling," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 147967–147984, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3123938.
- [45] M. N. Bhalia and A. A. Bavarva, "Enhanced Secure and Efficient Routing Algorithm for Optimal Multimedia Data Transmission," *Serbian J. Electr. Eng.*, vol. 22, no. 2, pp. 147–163, 2025, doi: 10.2298/SJEE2502147B.
- [46] K. Abedi, R. Ansari, and M. K. Hassanzadeh-Aghdam, "Effects of aspect ratio and arrangement of PZT-7A piezoelectric fillers on energy harvesting performance of PVDF composite cantilevers," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 239, no. 17 Special Issue: Materials, processes, and procedures: looking for a more sustainable world, pp. 6968–6982, 2025, doi: 10.1177/09544062251343709.
- [47] O. H. Embarak and R. A. Zitar, "Securing wireless sensor networks against dos attacks in industrial 4.0," *J. Intell. Syst. Internet Things*, vol. 8, no. 1, pp. 66–74, 2023, doi: 10.54216/JISIoT.080106.
- [48] A. A. Al-Hamadani, M. J. Mohammed, and S. M. Tariq, "Normalized deep learning algorithms based information aggregation functions to classify motor imagery EEG signal," *Neural Comput. Appl.*, vol. 35, no. 30, pp. 22725–22736, 2023, doi: 10.1007/s00521-023-08944-9.
- [49] C. C. Rawlins and S. Jagannathan, "An Intelligent Distributed Ledger Construction Algorithm for IoT," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 10838–10851, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3146343.
- [50] N. Gómez-Vargas, S. Maldonado, and C. Vairetti, "A predict-and-optimize approach to profit-driven churn prevention," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 324, no. 2, pp. 555–566, 2025, doi: 10.1016/j.ejor.2025.02.008.
- [51] J. Shu, Y. Quan, and D. Yang, "An LSTM-AE-Bayes embedded gateway for real-time anomaly detection in agricultural wireless sensor networks," *Smart Agric. Technol.*, vol. 11, 2025, doi: 10.1016/j.atech.2025.100944.
- [52] Y. Cao, Z. Guo, and Y. Qu, "Mechanically induced electric potential and charge redistribution in laminated composite piezoelectric semiconductor circular cylindrical thin shells," *Thin-Walled Struct.*, vol. 195, 2024, doi: 10.1016/j.tws.2023.111372.

Publisher's Note: Publisher stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.