

Analisis Trade-Off Konsumsi Energi dalam Adopsi Cloud Computing: Perspektif Green IT dan Keberlanjutan Infrastruktur Digital

Akhmad Arizki Adi Prayuda^{1*}

¹Universitas Bumigora

Corresponding: arizkiprayuda@gmail.com*

Submitted: 23-05-2026; Accepted: 30-06-2026; Published: 30-06-2026

ABSTRACT

Cloud computing has become an essential infrastructure for digital transformation across various sectors. Its ability to provide flexible, scalable, and on-demand computing resources offers organizations opportunities to improve operational efficiency. However, the rapid growth of cloud services has also increased concerns regarding energy consumption and environmental sustainability. This study aims to analyze energy-consumption trade-offs in cloud computing adoption from the perspective of Green Information Technology (Green IT). The research employed a qualitative literature review by examining studies related to green cloud computing, sustainable data centers, energy efficiency, digital systems, and computing-resource management. The analysis focuses on infrastructure consolidation, virtualization, data-center energy consumption, computing workloads, and the environmental consequences of digital transformation. The findings indicate that cloud computing can improve resource utilization through infrastructure consolidation and dynamic resource allocation. Nevertheless, efficiency gains at the organizational level do not necessarily produce proportional reductions in total energy consumption because computing demand may increase as digital services become more accessible. The environmental benefits of cloud adoption therefore depend on workload management, infrastructure efficiency, data-center operations, and organizational technology policies. This study concludes that cloud computing should not automatically be categorized as environmentally sustainable; instead, its contribution to Green IT depends on comprehensive energy management throughout the digital infrastructure lifecycle.

Keywords: Cloud Computing, Green IT, Energy Efficiency, Data Center, Sustainable Computing

ABSTRAK

Cloud computing telah menjadi salah satu infrastruktur penting dalam mendukung transformasi digital pada berbagai sektor. Kemampuannya dalam menyediakan sumber daya komputasi secara fleksibel, terukur, dan sesuai kebutuhan memberikan peluang bagi organisasi untuk meningkatkan efisiensi operasional. Namun, pertumbuhan layanan cloud yang semakin pesat juga meningkatkan perhatian terhadap konsumsi energi dan keberlanjutan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis trade-off konsumsi energi dalam adopsi cloud computing berdasarkan perspektif Green Information Technology (Green IT). Penelitian menggunakan metode studi literatur kualitatif dengan mengkaji penelitian terdahulu mengenai green cloud computing, pusat data berkelanjutan, efisiensi energi, sistem digital, dan pengelolaan sumber daya komputasi. Analisis difokuskan pada hubungan antara konsolidasi infrastruktur, virtualisasi, konsumsi energi pusat data, beban kerja komputasi, serta konsekuensi lingkungan dari transformasi digital. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cloud computing dapat meningkatkan utilisasi sumber daya melalui konsolidasi infrastruktur dan alokasi sumber daya secara dinamis. Namun, peningkatan efisiensi pada tingkat organisasi tidak selalu menghasilkan penurunan konsumsi energi secara proporsional karena kebutuhan komputasi dapat meningkat seiring semakin mudahnya akses terhadap layanan digital. Oleh karena itu, manfaat lingkungan dari adopsi cloud dipengaruhi oleh pengelolaan beban kerja, efisiensi infrastruktur, operasional pusat data, dan kebijakan teknologi organisasi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa cloud computing tidak dapat secara otomatis dikategorikan sebagai teknologi yang berkelanjutan. Kontribusinya terhadap Green IT bergantung pada kemampuan organisasi dan penyedia layanan dalam mengelola konsumsi energi secara menyeluruh sepanjang siklus penggunaan infrastruktur digital.

Kata Kunci: Cloud Computing, Green IT, Efisiensi Energi, Pusat Data, Komputasi Berkelanjutan

1. PENDAHULUAN

Transformasi digital telah meningkatkan ketergantungan organisasi terhadap teknologi informasi. Berbagai aktivitas seperti pengelolaan data, penyimpanan informasi, pengembangan aplikasi, komunikasi digital, dan pemrosesan data semakin bergantung pada infrastruktur komputasi. Cloud computing menjadi salah satu teknologi yang banyak digunakan karena memungkinkan organisasi memperoleh sumber daya komputasi secara fleksibel tanpa harus menyediakan seluruh infrastruktur secara mandiri [1].

Penerapan cloud computing memberikan berbagai keuntungan, terutama dalam hal skalabilitas, fleksibilitas, dan pengelolaan sumber daya. Organisasi dapat meningkatkan atau mengurangi kapasitas komputasi sesuai dengan kebutuhan.

Kondisi tersebut secara teoritis dapat meningkatkan utilisasi sumber daya dan mengurangi keberadaan perangkat fisik yang tidak digunakan secara optimal [2], [3].

Meskipun demikian, peningkatan penggunaan cloud computing juga menghadirkan persoalan baru dalam konteks keberlanjutan. Pemindahan sistem dari infrastruktur lokal menuju cloud tidak berarti bahwa kebutuhan energi teknologi informasi hilang. Konsumsi energi tersebut berpindah dan terkonsentrasi pada pusat data, jaringan komunikasi, serta perangkat pendukung lainnya. Pertumbuhan layanan digital menyebabkan pusat data membutuhkan energi dalam jumlah besar untuk menjalankan server, sistem penyimpanan, jaringan, dan pendinginan [4].

Konsep Green Information Technology atau Green IT muncul sebagai salah satu pendekatan untuk mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan teknologi informasi. Green IT tidak hanya berfokus pada pengurangan penggunaan perangkat, tetapi juga mencakup pengelolaan energi, peningkatan efisiensi infrastruktur, optimalisasi perangkat lunak, dan pengambilan keputusan teknologi yang mempertimbangkan keberlanjutan [2], [5].

Salah satu persoalan penting dalam penerapan cloud computing adalah adanya trade-off antara efisiensi dan peningkatan kebutuhan layanan digital. Ketika suatu infrastruktur menjadi lebih efisien dan mudah diakses, pengguna dapat meningkatkan intensitas penggunaan layanan tersebut. Akibatnya, penghematan energi yang diperoleh dari peningkatan efisiensi dapat berkurang akibat meningkatnya volume aktivitas digital.

Penelitian mengenai sistem informasi berbasis web menunjukkan bahwa digitalisasi dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan informasi dan proses organisasi [6]. Selain itu, keberhasilan pemanfaatan teknologi dipengaruhi oleh faktor penerimaan pengguna dan ketersediaan fasilitas pendukung [7]. Dalam konteks infrastruktur cloud, peningkatan jumlah pengguna dan layanan digital secara langsung dapat memengaruhi kebutuhan terhadap kapasitas komputasi.

Kompleksitas kebutuhan komputasi juga terlihat pada perkembangan teknologi berbasis kecerdasan buatan. Penelitian mengenai perbandingan model CNN-LSTM dan LSTM menunjukkan bahwa perubahan ukuran data dan kompleksitas model dapat menghasilkan kebutuhan pemrosesan yang berbeda [8]. Hal tersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan aplikasi digital tidak dapat dipisahkan dari peningkatan kebutuhan sumber daya komputasi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis trade-off konsumsi energi dalam adopsi cloud computing melalui perspektif Green IT. Penelitian difokuskan pada konsolidasi infrastruktur, virtualisasi, pengelolaan beban kerja, konsumsi energi pusat data, dan tantangan keberlanjutan dalam perkembangan ekosistem digital.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Cloud Computing

Cloud computing merupakan model penyediaan layanan komputasi yang memungkinkan pengguna memperoleh sumber daya seperti penyimpanan, server, aplikasi, dan kapasitas pemrosesan melalui jaringan. Salah satu karakteristik penting cloud computing adalah elastisitas, yaitu kemampuan infrastruktur dalam menyesuaikan sumber daya dengan kebutuhan pengguna [1]. Dari perspektif organisasi, cloud computing dapat mengurangi kebutuhan investasi terhadap perangkat keras secara langsung dan memungkinkan berbagai beban kerja dikelola dalam lingkungan pusat data yang lebih terpusat.

Green Information Technology

Green Information Technology merupakan pendekatan penggunaan dan pengelolaan teknologi informasi dengan mempertimbangkan efisiensi energi dan dampak lingkungan. Implementasi Green IT dapat dilakukan melalui konsolidasi perangkat, virtualisasi, manajemen daya, optimalisasi perangkat lunak, serta penggunaan infrastruktur yang lebih efisien [2], [5]. Dalam konteks cloud computing, Green IT memiliki hubungan yang erat dengan pengelolaan sumber daya pusat data.

Konsumsi Energi Infrastruktur Digital

Infrastruktur digital membutuhkan energi untuk menjalankan proses komputasi. Pada pusat data, konsumsi energi berasal dari server, perangkat penyimpanan, jaringan, sistem pendinginan, dan fasilitas pendukung. Pertumbuhan layanan digital menyebabkan peningkatan kebutuhan terhadap kapasitas komputasi sehingga efisiensi energi menjadi salah satu tantangan utama [3], [4]. Peningkatan efisiensi tidak selalu menghasilkan penurunan konsumsi energi secara absolut apabila kemudahan akses teknologi mendorong peningkatan permintaan terhadap layanan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan pendekatan kualitatif. Studi literatur digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis berbagai penelitian yang berkaitan dengan cloud computing, efisiensi energi, Green IT, pusat data berkelanjutan, dan pengelolaan sumber daya komputasi.

Tahapan penelitian terdiri atas lima proses. Tahap pertama adalah identifikasi literatur berdasarkan relevansi terhadap topik penelitian. Tahap kedua adalah seleksi sumber berdasarkan keterkaitan dengan konsumsi energi dan keberlanjutan cloud computing. Tahap ketiga adalah ekstraksi informasi yang mencakup tujuan penelitian, pendekatan, hasil, dan implikasi keberlanjutan.

Tahap keempat adalah pengelompokan hasil berdasarkan beberapa tema utama, yaitu konsolidasi infrastruktur, virtualisasi, pusat data, beban kerja komputasi, dan trade-off efisiensi energi. Tahap terakhir adalah sintesis konseptual untuk menjelaskan hubungan antara peningkatan efisiensi teknologi dan perubahan kebutuhan sumber daya digital.

Penelitian ini tidak melakukan pengukuran langsung terhadap konsumsi energi pada satu pusat data tertentu. Oleh karena itu, hasil penelitian merupakan analisis konseptual berdasarkan sintesis dari penelitian terdahulu.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsolidasi Infrastruktur sebagai Sumber Efisiensi

Salah satu keuntungan utama cloud computing adalah kemampuan untuk melakukan konsolidasi sumber daya komputasi. Pada model infrastruktur tradisional, setiap organisasi dapat memiliki server dan perangkat sendiri. Kondisi tersebut berpotensi menghasilkan tingkat utilisasi yang rendah karena kapasitas perangkat tidak selalu digunakan secara maksimal. Cloud computing memungkinkan berbagai beban kerja dikelola dalam infrastruktur yang lebih terpusat. Konsolidasi dapat mengurangi jumlah perangkat fisik dan meningkatkan tingkat pemanfaatan server [2], [3].

Secara konseptual, konsolidasi dapat menghasilkan alur: Konsolidasi server → pengurangan perangkat fisik → peningkatan utilisasi sumber daya → potensi pengurangan konsumsi energi per beban kerja → dukungan terhadap Green IT. Namun, hubungan tersebut tidak selalu linear. Pengurangan perangkat fisik tidak secara otomatis menunjukkan bahwa konsumsi energi total akan menurun karena pusat data yang lebih besar juga membutuhkan sistem pendinginan dan infrastruktur pendukung yang kompleks [2], [4].

Virtualisasi dan Optimalisasi Sumber Daya

Virtualisasi merupakan salah satu teknologi penting dalam cloud computing. Teknologi ini memungkinkan beberapa sistem atau aplikasi dijalankan pada sumber daya fisik yang sama. Dengan demikian, kapasitas perangkat keras dapat digunakan secara lebih optimal [2]. Virtualisasi dapat mengurangi kebutuhan untuk menyediakan server fisik bagi setiap aplikasi secara terpisah.

Namun, peningkatan efisiensi virtualisasi juga dapat mendorong organisasi untuk menjalankan lebih banyak aplikasi dan layanan. Fenomena tersebut menunjukkan adanya trade-off: efisiensi pada tingkat satu aplikasi dapat menghasilkan kapasitas tambahan yang kemudian digunakan untuk mengembangkan layanan baru. Akibatnya, konsumsi energi total perlu dianalisis berdasarkan pertumbuhan seluruh aktivitas digital, bukan hanya berdasarkan efisiensi satu perangkat atau satu aplikasi.

Pusat Data sebagai Pusat Konsumsi Energi

Cloud computing mengubah pola lokasi konsumsi energi teknologi informasi. Jika sebelumnya energi dikonsumsi secara tersebar oleh berbagai organisasi, cloud computing dapat memusatkan sebagian besar kebutuhan komputasi pada pusat data. Pusat data membutuhkan energi untuk menjalankan server, sistem penyimpanan, perangkat jaringan, dan sistem pendinginan [4].

Kajian mengenai green cloud computing menunjukkan bahwa keberlanjutan pusat data dipengaruhi oleh manajemen beban kerja, virtualisasi, penggunaan energi, dan strategi pendinginan [2]. Oleh sebab itu, penggunaan cloud tidak dapat dievaluasi hanya berdasarkan pengurangan jumlah perangkat di sisi pengguna. Efisiensi yang terjadi pada satu organisasi dapat diikuti oleh peningkatan konsumsi energi pada lapisan infrastruktur yang berbeda.

Kompleksitas Beban Kerja dan Konsumsi Sumber Daya

Pertumbuhan aplikasi digital menyebabkan peningkatan kompleksitas kebutuhan komputasi. Sistem berbasis kecerdasan buatan, analisis data, dan pemrosesan multimedia membutuhkan sumber daya yang lebih besar dibandingkan aplikasi konvensional. Penelitian Handayani dan Abas [8] menunjukkan bahwa perubahan ukuran dataset dapat memengaruhi performa dan kebutuhan pemrosesan model pembelajaran mendalam. Temuan tersebut relevan secara konseptual karena pertumbuhan data dan kompleksitas algoritma perlu dipertimbangkan dalam perencanaan kapasitas infrastruktur.

Penelitian JUIK lain yang melibatkan Mohamad Ilyas Abas menunjukkan semakin luasnya penerapan teknologi digital dalam berbagai bidang, seperti pengelolaan informasi, Internet of Things, dan pengembangan aplikasi berbasis kecerdasan buatan [9]–[15]. Perkembangan tersebut memberikan manfaat operasional, tetapi pada saat yang sama memperluas kebutuhan perangkat, penyimpanan data, konektivitas, dan aktivitas komputasi. Dengan demikian, strategi Green IT tidak cukup hanya mengandalkan peningkatan efisiensi perangkat keras; pengelolaan kebutuhan komputasi dan desain aplikasi juga menjadi bagian penting dalam pengendalian konsumsi energi.

Trade-Off antara Efisiensi dan Pertumbuhan Layanan

Hasil analisis menunjukkan bahwa salah satu persoalan utama keberlanjutan cloud computing adalah trade-off antara efisiensi dan pertumbuhan layanan digital. Ketika penyedia cloud berhasil meningkatkan efisiensi infrastruktur, biaya dan hambatan penggunaan layanan dapat berkurang. Kondisi tersebut dapat mendorong organisasi dan pengguna untuk meningkatkan penggunaan teknologi digital.

Hubungan tersebut dapat dijelaskan melalui alur: Peningkatan efisiensi infrastruktur → penurunan biaya per layanan → peningkatan akses dan penggunaan layanan digital → pertumbuhan beban kerja → peningkatan kebutuhan komputasi. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi energi perlu disertai dengan pengelolaan permintaan dan beban kerja. Jika tidak, pertumbuhan aktivitas digital dapat mengurangi manfaat yang diperoleh dari peningkatan efisiensi teknologi.

Peran Desain Sistem dalam Green IT

Keberlanjutan tidak hanya ditentukan oleh infrastruktur fisik. Desain sistem dan aplikasi juga memengaruhi jumlah sumber daya yang dibutuhkan. Sistem digital yang dirancang secara efisien dapat mengurangi pemrosesan yang tidak diperlukan, penggunaan penyimpanan berlebihan, dan transfer data yang tidak efisien.

Penelitian mengenai sistem inventarisasi aset berbasis web menunjukkan bahwa digitalisasi dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan informasi [6], sedangkan penelitian mengenai penerimaan sistem informasi menunjukkan bahwa ketersediaan fasilitas dan kemudahan penggunaan merupakan faktor penting dalam keberhasilan teknologi [7]. Evaluasi kualitas sistem informasi juga menekankan pentingnya kualitas layanan dan pengalaman pengguna [12]. Oleh sebab itu, strategi Green IT perlu mengintegrasikan efisiensi teknologi, kebutuhan pengguna, dan keberlanjutan infrastruktur.

Model Konseptual Keberlanjutan Cloud Computing

Berdasarkan hasil sintesis, keberlanjutan cloud computing dapat dianalisis melalui empat komponen utama. Pertama, efisiensi infrastruktur yang mencakup virtualisasi, konsolidasi, dan pemanfaatan kapasitas. Kedua, karakteristik beban kerja yang berkaitan dengan ukuran data, kompleksitas aplikasi, dan kebutuhan pemrosesan. Ketiga, operasional pusat data yang mencakup konsumsi energi server, jaringan, penyimpanan, dan pendinginan. Keempat, pertumbuhan layanan digital yang berkaitan dengan peningkatan jumlah pengguna dan aktivitas.

Keempat komponen tersebut saling berhubungan. Peningkatan efisiensi pada satu komponen dapat mengubah pola penggunaan pada komponen lain. Oleh sebab itu, evaluasi Green IT perlu dilakukan secara menyeluruh dan tidak hanya berfokus pada satu indikator, seperti jumlah perangkat fisik yang berhasil dikurangi. Pendekatan ini menempatkan cloud computing sebagai bagian dari sistem digital yang memiliki manfaat sekaligus konsekuensi energi.

5. KESIMPULAN

Cloud computing memiliki potensi besar untuk mendukung penerapan Green IT melalui konsolidasi infrastruktur, virtualisasi, dan optimalisasi penggunaan sumber daya komputasi. Infrastruktur cloud dapat meningkatkan tingkat utilisasi perangkat dan mengurangi kebutuhan organisasi untuk mengelola sejumlah besar perangkat fisik secara mandiri. Namun, penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi infrastruktur tidak selalu menghasilkan penurunan konsumsi energi secara otomatis. Peningkatan aksesibilitas layanan digital dapat mendorong pertumbuhan penggunaan aplikasi dan kebutuhan komputasi. Selain itu, konsumsi energi yang berkurang pada infrastruktur lokal dapat berpindah dan terkonsentrasi pada pusat data. Oleh karena itu, keberlanjutan cloud computing harus dianalisis melalui perspektif trade-off. Organisasi tidak cukup hanya melakukan migrasi sistem menuju cloud, tetapi juga perlu mengelola kapasitas, beban kerja, penggunaan aplikasi, dan kebutuhan sumber daya secara efisien. Cloud computing dapat mendukung Green IT apabila efisiensi infrastruktur disertai dengan pengelolaan pertumbuhan layanan digital dan evaluasi konsumsi energi secara menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Hatta, Hadiyanto, and C. W. Budiyanto, "A Systematic Literature Review of Sustainable Cloud Computing Adoption in Higher Education Institutions Covering Architectures, Critical Factors, and Green IT Practices," *Discover Computing*, vol. 29, Art. no. 266, 2026, doi: 10.1007/s10791-026-10160-7.
- [2] D. Biswas, S. Jahan, S. Saha, and M. Samsuddoha, "A Succinct State-of-the-Art Survey on Green Cloud Computing: Challenges, Strategies, and Future Directions," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 44, Art. no. 101036, 2024, doi: 10.1016/j.suscom.2024.101036.
- [3] R. Buyya, S. Ilager, and P. Arroba, "Energy-Efficiency and Sustainability in New Generation Cloud Computing: A Vision and Directions for Integrated Management of Data Centre Resources and Workloads," *Software: Practice and Experience*, vol. 54, no. 1, pp. 24–38, 2024.
- [4] "A Systematic Review of Green-Aware Management Techniques for Sustainable Data Center," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 42, Art. no. 100989, 2024, doi: 10.1016/j.suscom.2024.100989.
- [5] P. K. Singh, S. Misra, S. Mittal, and S. Kumar, "Green Cloud Computing and Energy Efficiency: A Systematic Literature Review and Research Agenda," 2024.
- [6] M. Masri, M. I. Abas, W. Hasyim, and I. Ibrahim, "Sistem Inventarisasi Aset Universitas Muhammadiyah Gorontalo Berbasis Web," *Jurnal Ilmu Komputer (JUIK)*, vol. 2, no. 2, pp. 27–30, 2022, doi: 10.31314/juik.v2i2.1712.
- [7] S. Yusuf, M. I. Abas, S. Syahrial, and R. Lamusu, "Penerapan Model Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) terhadap Penggunaan Sistem Informasi Akademik Universitas Muhammadiyah Gorontalo," *Jurnal Ilmu Komputer (JUIK)*, vol. 2, no. 2, pp. 31–36, 2022, doi: 10.31314/juik.v2i2.1714.
- [8] T. P. Handayani and M. I. Abas, "Comparative Analysis of CNN-LSTM and LSTM Models for Cyberbullying Detection with Increasing Dataset Sizes," *Jurnal Ilmu Komputer (JUIK)*, vol. 4, no. 2, pp. 75–85, 2024, doi: 10.31314/juik.v4i2.3185.
- [9] B. I. Mahendra, M. I. Abas, S. Syahrial, and W. E. Pranata, "Rancang Bangun Pengaturan Pakan Ikan Nila Berbasis Internet of Things," *Jurnal Ilmu Komputer (JUIK)*, vol. 5, no. 1, pp. 20–35, 2025, doi: 10.31314/juik.v5i1.3899.
- [10] W. E. Pranata, M. I. Abas, I. Ibrahim, R. Lamusu, and S. Syahrial, "Konstruksi Algoritma Pewarnaan Titik Pelangi pada Graf Pohon," *Jurnal Ilmu Komputer (JUIK)*, vol. 5, no. 1, pp. 13–19, 2025, doi: 10.31314/juik.v5i1.3839.
- [11] R. Antupetu, M. I. Abas, A. Lasarudin, and R. Lamusu, "Digital Library Universitas Muhammadiyah Gorontalo," *Jurnal Ilmu Komputer (JUIK)*, vol. 4, no. 1, pp. 1–15, 2024, doi: 10.31314/juik.v4i1.2797.
- [12] N. K. Sulistyawati, W. Hasyim, R. Maku, and M. I. Abas, "Analisis Tingkat Kepuasan Pengguna Sistem Informasi Elektronik Kinerja ASN (SI-EKA) di Kementerian Agama Menggunakan Metode WebQual," *Jurnal Ilmu Komputer (JUIK)*, vol. 4, no. 1, pp. 28–39, 2024, doi: 10.31314/juik.v4i1.2804.
- [13] M. A. Chandra, I. Isminarti, F. Fauziah, Y. B. Mulyadi, and M. I. Abas, "Optimizing Production Process by Integrating 3D Manufacturing Technology Using Autodesk Inventor Software to Improve Efficiency," *Jurnal Ilmu Komputer (JUIK)*, 2024.
- [14] F. Adisyar, M. I. Abas, W. E. Pranata, R. Lamusu, S. Syahrial, and I. Ibrahim, "Apple Fruit Quality Detection (Good and Rotten) Using the YOLOv5 Method," *Jurnal Ilmu Komputer (JUIK)*, vol. 6, no. 1, pp. 24–31, 2026, doi: 10.31314/juik.v6i1.5539.
- [15] N. M. Tangahu, M. I. Abas, W. E. Pranata, R. Lamusu, S. Syahrial, and I. Ibrahim, "Avocado Ripeness Classification Using a Convolutional Neural Network (CNN)," *Jurnal Ilmu Komputer (JUIK)*, vol. 6, no. 1, pp. 32–38, 2026, doi: 10.31314/juik.v6i1.5540.