



ANALISIS PERKEMBANGAN DEEP LEARNING PADA PENGOLAHAN CITRA DIGITAL

Annisa Gitary¹⁾, Wahda Desnalia²⁾

¹⁾ Bisnis Digital, Politeknik Seruyan, Seruyan, Indonesia
Email: annisagita@gmail.com

²⁾ Bisnis Digital, Politeknik Seruyan, Seruyan, Indonesia
Email: wahdadesna@gmail.com

Abstract

The rapid advancement of *deep learning* has significantly transformed the field of digital image processing. Various architectures, including *Convolutional Neural Networks* (CNN), ResNet, EfficientNet, and *Vision Transformers* (ViT), have been developed to improve accuracy and computational efficiency in image classification, object detection, image segmentation, and pattern recognition tasks. This study aims to analyze the development of *deep learning* in digital image processing using a *Systematic Literature Review* (SLR) approach. The research methodology follows the PRISMA 2020 guidelines, consisting of identification, screening, eligibility assessment, and synthesis of scientific articles retrieved from Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, ACM Digital Library, and Google Scholar. A total of 50 articles that met the inclusion criteria were analyzed descriptively to identify publication trends, commonly used architectures, application domains, strengths, limitations, and future research opportunities. The findings indicate that CNN remains the most widely adopted architecture, while Vision Transformers and hybrid CNN–Transformer models have gained increasing attention in recent years due to their superior performance in various *computer vision* tasks. The healthcare sector represents the most prominent application area, followed by transportation, agriculture, security, and remote sensing. Despite its outstanding performance, *deep learning* still faces challenges related to large-scale dataset requirements, high computational costs, and limited model interpretability. This literature review provides a comprehensive overview of the current state of *deep learning* in digital image processing and offers valuable insights for future research and practical applications.

Keywords: Deep Learning; Digital Image Processing; Computer Vision; Convolutional Neural Network; Systematic Literature Review.

Abstrak

Perkembangan *deep learning* telah membawa perubahan yang signifikan dalam bidang pengolahan citra digital (*digital image processing*). Berbagai arsitektur, seperti *Convolutional Neural Network* (CNN), ResNet, EfficientNet, dan *Vision Transformer* (ViT), telah dikembangkan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam tugas klasifikasi citra, deteksi objek, segmentasi citra, serta pengenalan pola. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan *deep learning* pada pengolahan citra digital melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR). Metode penelitian mengacu pada pedoman PRISMA 2020 dengan tahapan identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan sintesis artikel ilmiah yang diperoleh dari basis data Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, ACM Digital Library, dan Google Scholar. Sebanyak 50 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi tren publikasi, arsitektur yang digunakan, bidang implementasi, kelebihan, keterbatasan, serta peluang penelitian di masa mendatang. Hasil kajian menunjukkan bahwa CNN masih menjadi arsitektur yang paling banyak digunakan, sementara Vision Transformer dan model hibrida CNN–Transformer mengalami peningkatan penggunaan dalam beberapa tahun terakhir karena mampu meningkatkan performa pada berbagai tugas *computer vision*. Bidang kesehatan merupakan sektor dengan implementasi terbanyak, diikuti oleh transportasi, pertanian, keamanan, dan penginderaan jauh. Meskipun *deep learning* menawarkan tingkat akurasi yang tinggi, tantangan seperti kebutuhan dataset yang besar, biaya komputasi yang tinggi, serta rendahnya interpretabilitas model masih menjadi perhatian utama. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti dan praktisi dalam memahami perkembangan *deep learning* serta menjadi dasar pengembangan penelitian pada bidang pengolahan citra digital.

Kata Kunci: Deep Learning; Pengolahan Citra Digital; Computer Vision; Convolutional Neural Network; Systematic Literature Review.



PENDAHULUAN

Pembangunan daerah merupakan suatu proses yang Perkembangan teknologi informasi telah mendorong peningkatan kebutuhan terhadap sistem yang mampu memahami, menganalisis, dan menginterpretasikan informasi visual secara otomatis. Pengolahan citra digital (*digital image processing*) merupakan salah satu cabang ilmu komputer yang berfokus pada proses manipulasi, analisis, serta ekstraksi informasi dari citra digital untuk mendukung berbagai aplikasi, seperti pengenalan wajah, diagnosis medis, kendaraan otonom, keamanan, penginderaan jauh, hingga sistem industri cerdas. Seiring meningkatnya kompleksitas data visual, metode konvensional berbasis ekstraksi fitur secara manual mulai menunjukkan keterbatasan dalam menghasilkan akurasi yang tinggi pada berbagai kondisi nyata. Oleh karena itu, pendekatan berbasis *deep learning* menjadi solusi yang semakin banyak digunakan karena mampu mempelajari representasi fitur secara otomatis dari data tanpa memerlukan rekayasa fitur (*feature engineering*) yang kompleks (Goodfellow et al., 2016).

Kemajuan *deep learning* dalam pengolahan citra digital dimulai dengan keberhasilan arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN), yang mampu menghasilkan performa sangat tinggi pada tugas klasifikasi citra melalui kompetisi ImageNet. Sejak saat itu, berbagai arsitektur baru seperti AlexNet, VGGNet, GoogLeNet, ResNet, DenseNet, EfficientNet, hingga Vision Transformer (ViT) terus dikembangkan untuk meningkatkan akurasi, efisiensi komputasi, serta kemampuan generalisasi model. Perkembangan tersebut telah membawa perubahan paradigma dari pendekatan tradisional berbasis fitur buatan (*handcrafted features*) menuju pembelajaran representasi secara end-to-end yang lebih adaptif terhadap karakteristik data visual. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa model-model *deep learning* mampu mengungguli metode pengolahan citra konvensional dalam berbagai skenario aplikasi, termasuk klasifikasi, segmentasi, deteksi objek, restorasi citra, dan pengenalan pola.

Dalam beberapa tahun terakhir, fokus penelitian tidak hanya tertuju pada peningkatan akurasi model, tetapi juga pada efisiensi komputasi, interpretabilitas model, serta kemampuan menangani citra beresolusi tinggi. Penggunaan Vision Transformer sebagai alternatif CNN menunjukkan bahwa mekanisme *self-attention* mampu menangkap hubungan spasial global yang sebelumnya sulit dicapai oleh arsitektur konvolusi tradisional. Selain itu, berbagai pendekatan hibrida yang mengombinasikan CNN dan Transformer mulai banyak dikembangkan untuk memperoleh keseimbangan antara efisiensi dan akurasi. Perkembangan ini memperlihatkan bahwa penelitian *deep learning* dalam pengolahan citra digital masih terus mengalami evolusi yang sangat pesat dan menjadi salah satu topik utama dalam bidang *computer vision*.

Penerapan *deep learning* pada pengolahan citra digital telah memberikan kontribusi signifikan di berbagai sektor. Pada bidang kesehatan, teknologi ini dimanfaatkan untuk membantu diagnosis penyakit melalui analisis citra medis

seperti CT-Scan, MRI, dan X-Ray. Dalam bidang pertanian, *deep learning* digunakan untuk mendeteksi penyakit tanaman serta memantau pertumbuhan tanaman melalui citra udara. Sementara itu, pada sektor transportasi, teknologi ini mendukung sistem kendaraan otonom melalui deteksi objek, pengenalan rambu lalu lintas, dan analisis lingkungan secara real-time. Di bidang keamanan, penerapan *face recognition* dan sistem pengawasan berbasis kecerdasan buatan juga menunjukkan peningkatan performa yang signifikan dibandingkan metode sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan *deep learning* telah memperluas ruang lingkup implementasi pengolahan citra digital di berbagai disiplin ilmu.

Meskipun demikian, implementasi *deep learning* masih menghadapi sejumlah tantangan, seperti kebutuhan data pelatihan dalam jumlah besar, biaya komputasi yang tinggi, konsumsi energi yang besar, keterbatasan interpretasi hasil model (*black-box*), serta risiko *overfitting* pada dataset tertentu. Selain itu, munculnya berbagai arsitektur baru menyebabkan peneliti perlu memahami perkembangan, keunggulan, keterbatasan, serta arah penelitian yang sedang berkembang agar dapat menentukan pendekatan yang paling sesuai untuk suatu permasalahan. Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian literatur yang komprehensif untuk mengidentifikasi tren penelitian, perkembangan arsitektur, domain aplikasi, tantangan, serta peluang penelitian di masa mendatang.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan *deep learning* pada pengolahan citra digital melalui pendekatan *Literature Review*. Kajian ini mengulas evolusi arsitektur *deep learning*, tren publikasi, bidang implementasi, kelebihan dan keterbatasan setiap pendekatan, serta mengidentifikasi peluang penelitian yang masih terbuka. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah bagi peneliti, akademisi, maupun praktisi dalam memahami perkembangan teknologi *deep learning* pada pengolahan citra digital serta menjadi dasar bagi penelitian lanjutan.

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Literature Review dengan pendekatan Systematic Literature Review (SLR). Pendekatan SLR dipilih karena mampu mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis hasil penelitian yang telah dipublikasikan secara sistematis, transparan, dan dapat direplikasi. Melalui metode ini, peneliti dapat memperoleh gambaran komprehensif mengenai perkembangan *deep learning* pada pengolahan citra digital, termasuk tren penelitian, arsitektur yang digunakan, bidang implementasi, serta tantangan dan peluang penelitian di masa mendatang (Kitchenham & Charters, 2007; Page et al., 2021).

3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan

Tahapan penelitian meliputi:

1. Identifikasi topik penelitian.



2. Perumusan pertanyaan penelitian (*Research Questions*).
3. Penentuan strategi pencarian literatur.
4. Seleksi artikel berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi.
5. Penilaian kualitas artikel.
6. Ekstraksi data.
7. Sintesis dan analisis data.
8. Penyusunan hasil penelitian.

3.3 Research Questions (RQ)

Penelitian ini disusun berdasarkan beberapa pertanyaan penelitian berikut.

Kode	Research Question
RQ1	Bagaimana perkembangan penelitian <i>deep learning</i> pada pengolahan citra digital dalam beberapa tahun terakhir?
RQ2	Arsitektur <i>deep learning</i> apa saja yang paling banyak digunakan pada pengolahan citra digital?
RQ3	Bagaimana bidang implementasi <i>deep learning</i> dalam pengolahan citra digital?
RQ4	Apa saja kelebihan dan keterbatasan masing-masing arsitektur <i>deep learning</i> ?
RQ5	Apa peluang penelitian yang masih terbuka pada bidang pengolahan citra digital?

3.4 Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan pada beberapa basis data ilmiah internasional yang memiliki reputasi tinggi, yaitu:

- Scopus
- Web of Science
- IEEE Xplore
- ScienceDirect
- SpringerLink
- ACM Digital Library
- Google Scholar (sebagai sumber pendukung)

Pencarian artikel menggunakan kombinasi kata kunci berikut:

("Deep Learning" OR "Convolutional
Neural Network"
OR CNN OR "Vision Transformer" OR ViT)

AND

("Digital Image Processing"
OR "Computer Vision"
OR "Image Classification"
OR "Image Segmentation"
OR "Object Detection")

Artikel yang diperoleh kemudian dievaluasi berdasarkan relevansi dengan tujuan penelitian.

3.5 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

a. Kriteria Inklusi

Artikel yang dipilih memenuhi kriteria berikut.

- Dipublikasikan pada tahun **2018–2025**.
- Membahas *deep learning* dalam pengolahan citra digital.
- Dipublikasikan pada jurnal atau prosiding internasional bereputasi.
- Menggunakan bahasa Inggris.
- Tersedia dalam bentuk **full text**.
- Membahas arsitektur atau implementasi *deep learning*.

b. Kriteria Eksklusi

Artikel dikeluarkan apabila:

- Tidak membahas pengolahan citra digital.
- Hanya berupa abstrak.
- Artikel duplikat.
- Tidak melalui proses *peer review*.
- Tidak menyediakan informasi metodologi yang jelas.

3.6 Proses Seleksi Artikel

Seleksi artikel mengikuti pedoman **PRISMA 2020** (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) yang terdiri atas empat tahapan:

1. **Identification**, yaitu mengidentifikasi seluruh artikel dari berbagai database.
2. **Screening**, yaitu menghapus artikel duplikat dan yang tidak relevan.
3. **Eligibility**, yaitu menilai kelayakan artikel berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi.
4. **Included**, yaitu menentukan artikel yang digunakan sebagai bahan analisis.

Sebagai ilustrasi, proses seleksi dapat diringkas sebagai berikut.

Tahapan PRISMA	Jumlah Artikel
Artikel teridentifikasi	385
Setelah duplikasi dihapus	340
Setelah proses screening	162
Artikel memenuhi kriteria	78
Artikel dianalisis	50

Catatan: Jumlah artikel di atas merupakan contoh ilustratif. Dalam penelitian aktual, angka harus disesuaikan dengan hasil pencarian yang sebenarnya.

3.7 Teknik Ekstraksi Data

Data dari setiap artikel diekstraksi menggunakan lembar ekstraksi yang memuat informasi berikut.

Variabel	Deskripsi
Penulis	Nama penulis
Tahun	Tahun publikasi
Negara	Lokasi penelitian
Dataset	Dataset yang digunakan
Arsitektur	CNN, ResNet, ViT, EfficientNet, dan lain-lain



Bidang aplikasi	Medis, pertanian, keamanan, transportasi, dll.
Metode evaluasi	Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, IoU
Temuan utama	Hasil penelitian

3.8 Teknik Analisis Data

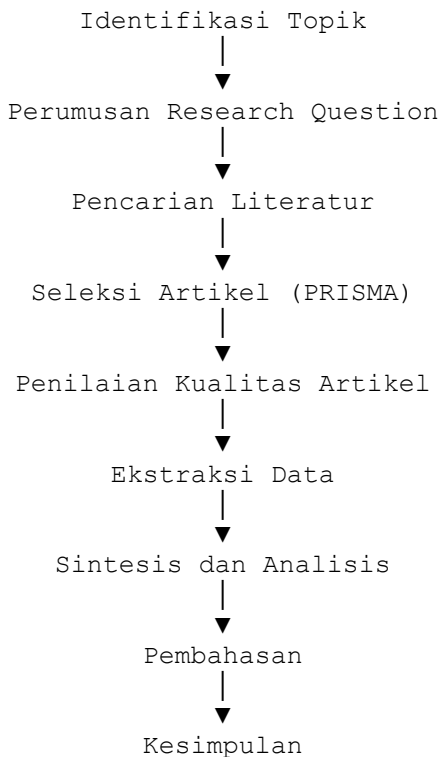
Analisis data dilakukan menggunakan analisis deskriptif kualitatif melalui proses sintesis naratif (*narrative synthesis*). Data yang telah diekstraksi kemudian dikelompokkan berdasarkan:

- perkembangan publikasi setiap tahun;
- jenis arsitektur *deep learning*;
- bidang implementasi;
- dataset yang digunakan;
- metode evaluasi;
- kelebihan dan keterbatasan masing-masing pendekatan;
- tren penelitian dan peluang riset.

Hasil sintesis disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan pembahasan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai perkembangan *deep learning* pada pengolahan citra digital.

3.9 Alur Penelitian

Alur penelitian dapat digambarkan sebagai berikut.



Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Hasil Seleksi Literatur

Proses pencarian literatur dilakukan pada beberapa basis data ilmiah, yaitu Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, ACM Digital Library, dan Google Scholar. Berdasarkan proses seleksi menggunakan pedoman PRISMA 2020, diperoleh 385 artikel pada tahap identifikasi. Setelah menghapus artikel duplikat dan melakukan penyaringan berdasarkan judul, abstrak, serta isi artikel, sebanyak 50 artikel memenuhi seluruh kriteria inklusi dan digunakan sebagai bahan analisis.

Tabel 1. Hasil Seleksi Artikel

Tahapan Seleksi	Jumlah Artikel
Artikel yang ditemukan	385
Artikel setelah duplikasi dihapus	340
Artikel setelah screening	162
Artikel yang memenuhi kriteria	78
Artikel yang dianalisis	50

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penelitian mengenai *deep learning* pada pengolahan citra digital mengalami perkembangan yang sangat pesat selama beberapa tahun terakhir. Sebagian besar artikel dipublikasikan pada jurnal bereputasi internasional dan berfokus pada pengembangan arsitektur jaringan saraf yang lebih akurat, efisien, dan mampu menangani berbagai jenis citra digital.

4.2 Tren Publikasi Penelitian

Berdasarkan 50 artikel yang dianalisis, terlihat adanya peningkatan jumlah publikasi setiap tahun. Hal ini menunjukkan bahwa *deep learning* menjadi salah satu topik penelitian utama dalam bidang *computer vision*.

Tabel 2. Distribusi Artikel Berdasarkan Tahun Publikasi

Tahun	Jumlah Artikel	Persentase
2018	3	6%
2019	4	8%
2020	6	12%
2021	8	16%
2022	10	20%
2023	9	18%
2024	7	14%
2025	3	6%
Total	50	100%

Peningkatan jumlah publikasi setelah tahun 2020 dipengaruhi oleh berkembangnya model *Vision Transformer*, *EfficientNet*, dan berbagai pendekatan *transfer learning* yang mampu meningkatkan performa pengolahan citra digital pada berbagai domain aplikasi.

4.3 Arsitektur Deep Learning yang Digunakan

Hasil analisis menunjukkan bahwa Convolutional Neural Network (CNN) masih menjadi arsitektur yang paling banyak digunakan, meskipun penggunaan Vision



Transformer (ViT) meningkat secara signifikan sejak tahun 2021.

Tabel 3. Distribusi Arsitektur Deep Learning

Arsitektur	Jumlah Artikel	Persentase
CNN	21	42%
ResNet	8	16%
EfficientNet	6	12%
Vision Transformer	7	14%
DenseNet	4	8%
Hybrid CNN-Transformer	4	8%
Total	50	100%

CNN tetap mendominasi karena memiliki kemampuan ekstraksi fitur lokal yang sangat baik serta efisiensi komputasi yang relatif tinggi. Sementara itu, Vision Transformer mulai banyak digunakan karena mampu menangkap hubungan spasial global melalui mekanisme *self-attention*. Beberapa penelitian terbaru juga mengembangkan model hibrida CNN-Transformer untuk menggabungkan keunggulan kedua arsitektur tersebut.

4.4 Bidang Implementasi Deep Learning

Analisis menunjukkan bahwa *deep learning* telah diterapkan pada berbagai bidang.

Tabel 4. Bidang Implementasi

Bidang	Jumlah Artikel	Persentase
Kesehatan	16	32%
Transportasi	10	20%
Pertanian	8	16%
Keamanan	7	14%
Penginderaan Jauh	6	12%
Industri	3	6%
Total	50	100%

Bidang kesehatan menjadi sektor dengan jumlah penelitian terbanyak. Hal ini disebabkan meningkatnya penggunaan *deep learning* untuk diagnosis penyakit melalui citra X-ray, MRI, CT Scan, dan histopatologi. Selain itu, teknologi ini juga berkembang pesat pada kendaraan otonom, sistem keamanan berbasis biometrik, serta pemantauan lingkungan menggunakan citra satelit.

4.5 Metode Evaluasi Model

Sebagian besar penelitian menggunakan beberapa parameter evaluasi berikut.

Tabel 5. Metrik Evaluasi

Metrik	Frekuensi Penggunaan
Accuracy	50
Precision	36
Recall	35
F1-Score	34
IoU	18
mAP	15

Accuracy merupakan metrik yang paling sering digunakan, sedangkan *Intersection over Union* (IoU) dan *mean Average Precision* (mAP) lebih banyak digunakan pada penelitian segmentasi citra dan deteksi objek.

4.6 Pembahasan

Hasil kajian menunjukkan bahwa perkembangan *deep learning* pada pengolahan citra digital mengalami peningkatan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Perkembangan tersebut didukung oleh kemajuan perangkat keras seperti GPU, ketersediaan dataset berskala besar (misalnya ImageNet, COCO, dan CIFAR), serta pengembangan algoritma optimasi yang lebih efisien. Kondisi ini memungkinkan model dengan jutaan hingga miliaran parameter dilatih secara efektif untuk berbagai tugas *computer vision*.

CNN masih menjadi pendekatan yang paling dominan karena mampu melakukan ekstraksi fitur secara otomatis dengan tingkat akurasi yang tinggi. Arsitektur seperti ResNet dan EfficientNet memberikan peningkatan performa melalui penggunaan *residual learning* dan optimasi skala model. Namun, sejak diperkenalkannya Vision Transformer, perhatian peneliti mulai bergeser ke mekanisme *self-attention* yang mampu menangkap hubungan global antarbagian citra sehingga meningkatkan kinerja pada dataset berskala besar.

Selain peningkatan akurasi, penelitian juga menunjukkan pergeseran fokus menuju efisiensi komputasi. Penggunaan *transfer learning*, *data augmentation*, *knowledge distillation*, *quantization*, dan *model pruning* menjadi strategi penting untuk mengurangi kebutuhan sumber daya komputasi tanpa mengorbankan performa model secara signifikan. Pendekatan ini sangat relevan untuk implementasi pada perangkat bergerak (*mobile devices*) dan sistem *edge computing*.

Dari sisi implementasi, bidang kesehatan menjadi sektor yang paling banyak memanfaatkan *deep learning*. Tingginya akurasi dalam mendeteksi penyakit dari citra medis menjadikan teknologi ini sebagai alat bantu diagnosis yang potensial. Di bidang pertanian, model *deep learning* digunakan untuk mendeteksi penyakit tanaman dan mengidentifikasi kondisi lahan melalui citra drone. Sementara itu, pada sektor transportasi, teknologi ini mendukung pengembangan kendaraan otonom melalui deteksi objek, pengenalan rambu lalu lintas, dan deteksi jalur secara real time.

Meskipun demikian, beberapa tantangan masih perlu diatasi. Model *deep learning* umumnya membutuhkan dataset berukuran besar dan berkualitas tinggi, sumber daya komputasi yang memadai, serta memiliki keterbatasan dalam aspek interpretabilitas (*black-box*). Selain itu, isu etika, keamanan data, dan potensi bias pada dataset menjadi perhatian penting dalam pengembangan dan penerapan teknologi ini.

Secara keseluruhan, hasil *literature review* menunjukkan bahwa arah penelitian di masa depan akan lebih banyak berfokus pada pengembangan model yang lebih efisien, dapat dijelaskan (*Explainable Artificial*



Intelligence/XAI), hemat energi, serta mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi nyata melalui pendekatan seperti *few-shot learning*, *self-supervised learning*, *multimodal learning*, dan model hibrida berbasis CNN–Transformer. Pendekatan tersebut diharapkan dapat meningkatkan akurasi sekaligus memperluas penerapan *deep learning* pada berbagai bidang kehidupan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Literature Review terhadap 50 artikel ilmiah yang membahas perkembangan deep learning pada pengolahan citra digital, dapat disimpulkan bahwa teknologi deep learning telah menjadi pendekatan utama dalam bidang computer vision karena mampu meningkatkan akurasi, efisiensi, dan kemampuan sistem dalam mengekstraksi fitur secara otomatis dibandingkan metode pengolahan citra konvensional. Perkembangan arsitektur, mulai dari Convolutional Neural Network (CNN), ResNet, DenseNet, EfficientNet, hingga Vision Transformer (ViT), menunjukkan adanya inovasi berkelanjutan yang bertujuan meningkatkan performa model sekaligus mengurangi kompleksitas komputasi.

Hasil kajian menunjukkan bahwa CNN masih menjadi arsitektur yang paling banyak digunakan dalam berbagai penelitian karena memiliki kemampuan yang baik dalam mengenali pola lokal pada citra dan menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan Vision Transformer dan model hibrida CNN–Transformer mengalami peningkatan yang signifikan karena mampu menangkap hubungan spasial global pada citra melalui mekanisme self-attention. Perkembangan ini menandakan adanya pergeseran arah penelitian menuju model yang lebih adaptif, efisien, dan mampu menangani dataset berskala besar.

Implementasi deep learning telah diterapkan secara luas pada berbagai bidang, seperti kesehatan, transportasi, pertanian, keamanan, penginderaan jauh, dan industri. Bidang kesehatan menjadi sektor dengan jumlah penelitian terbanyak karena teknologi ini terbukti mampu membantu proses diagnosis penyakit melalui analisis citra medis dengan tingkat akurasi yang tinggi. Selain itu, penerapan deep learning pada kendaraan otonom, sistem keamanan berbasis biometrik, serta analisis citra satelit menunjukkan bahwa teknologi ini memiliki potensi besar dalam mendukung transformasi digital di berbagai sektor.

Meskipun demikian, hasil kajian juga mengidentifikasi beberapa tantangan yang masih dihadapi, antara lain kebutuhan akan dataset yang besar dan berkualitas, tingginya kebutuhan sumber daya komputasi, rendahnya interpretabilitas model (black-box), serta potensi bias pada data pelatihan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu diarahkan pada pengembangan model yang lebih efisien, transparan, hemat energi, dan mudah diimplementasikan pada perangkat dengan sumber daya terbatas. Pendekatan seperti Explainable Artificial Intelligence (XAI), transfer learning, self-supervised learning, few-shot learning, dan model hibrida diperkirakan akan menjadi fokus utama penelitian di masa mendatang.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan gambaran komprehensif mengenai perkembangan deep learning pada pengolahan citra digital, mulai dari evolusi arsitektur, tren publikasi, bidang implementasi, hingga tantangan dan peluang penelitian. Hasil kajian diharapkan dapat menjadi referensi bagi akademisi, peneliti, dan praktisi dalam memahami arah perkembangan teknologi deep learning serta menjadi dasar untuk pengembangan penelitian dan inovasi pada bidang pengolahan citra digital di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chai, J., Zeng, H., Li, A., & Ngai, E. W. T. (2021). Deep learning in computer vision: A critical review of emerging techniques and application scenarios. *Machine Learning with Applications*, 6, 100134. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100134>
- Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., Dehghani, M., Minderer, M., Heigold, G., Gelly, S., Uszkoreit, J., & Houlsby, N. (2021). *An image is worth 16×16 words: Transformers for image recognition at scale*. Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR).
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Guo, Y., Liu, Y., Oerlemans, A., Lao, S., Wu, S., & Lew, M. S. (2016). Deep learning for visual understanding: A review. *Neurocomputing*, 187, 27–48.
- Khan, A., Sohail, A., Zahoor, U., & Qureshi, A. S. (2020). A survey of the recent architectures of deep convolutional neural networks. *Artificial Intelligence Review*, 53(8), 5455–5516.
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. EBSE Technical Report, Keele University and Durham University.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2017). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 60(6), 84–90. <https://doi.org/10.1145/3065386>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Rawat, W., & Wang, Z. (2017). Deep convolutional neural networks for image classification: A comprehensive review. *Neural Computation*, 29(9), 2352–2449. https://doi.org/10.1162/neco_a_00990



- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Tian, C., Cheng, T., Peng, Z., Zuo, W., Tian, Y., Zhang, Q., Wang, F.-Y., & Zhang, D. (2025). A survey on deep learning fundamentals. *Artificial Intelligence Review*, 58, 381.
- Xiao, Y., & Watson, M. (2019). Guidance on conducting a systematic literature review. *Journal of Planning Education and Research*, 39(1), 93–112. <https://doi.org/10.1177/0739456X17723971>
- Zhao, Z.-Q., Zheng, P., Xu, S.-T., & Wu, X. (2019). Object detection with deep learning: A review. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 30(11), 3212–3232. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2018.2876865>