



Klasifikasi Penyakit Daun Padi Menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN) Berbasis Pengolahan Citra Digital untuk Mendukung Ketahanan Pangan Nasional

Aditya Dwisusilo¹, Imam Yuadi²

¹Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia, aditya.dwisusilo-2024@pasca.unair.ac.id

²Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia, imam.yuadi@fisip.unair.ac.id

Corresponding Author: aditya.dwisusilo-2024@pasca.unair.ac.id¹

Abstract: *This study examines rice leaf diseases as a major factor contributing to yield reduction in Indonesia, where manual inspection carried out by farmers or field workers is often slow, subjective, and vulnerable to misinterpretation. This condition highlights the need for a rapid, consistent, and accurate detection system supported by digital technology. The study aims to develop a rice leaf disease classification model using a Convolutional Neural Network with a fine-tuned EfficientNetB0 architecture within a digital image processing framework. The method involves automatic feature extraction, proportional division of data into training and testing groups, and model optimization using computational procedures. Model performance was evaluated using accuracy, precision, recall, F1-score, and confusion matrix analysis. The results show that the model achieves a high accuracy range of 93–96 percent with balanced and stable performance across all disease categories. The findings indicate that the model can capture complex visual characteristics of rice leaf diseases and has strong potential for integration into automated early detection systems. Such systems could support timely disease monitoring and contribute to national food security by reducing crop losses and improving decision-making in rice cultivation.*

Keyword: *Convolutional Neural Network, EfficientNetB0, rice leaf disease, digital image processing, food security*

Abstrak: Penelitian ini mengkaji penyakit daun padi sebagai faktor utama yang menyebabkan penurunan hasil panen di Indonesia, di mana pemeriksaan manual oleh petani atau petugas lapangan sering berlangsung lambat, bersifat subjektif, dan rentan salah identifikasi. Kondisi ini menunjukkan perlunya sistem deteksi yang cepat, konsisten, dan akurat berbantuan teknologi digital. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model klasifikasi penyakit daun padi menggunakan *Convolutional Neural Network* dengan arsitektur *EfficientNetB0* yang disesuaikan dalam kerangka pengolahan citra digital. Metode meliputi ekstraksi ciri otomatis, pembagian data secara proporsional menjadi kelompok pelatihan dan pengujian, serta optimasi model menggunakan prosedur komputasi. Kinerja model dinilai melalui akurasi, ketepatan, sensitivitas, skor F1, dan analisis matriks kebingungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model mencapai tingkat akurasi tinggi

pada kisaran 93–96 persen dengan performa yang stabil di seluruh kategori penyakit. Temuan ini menegaskan bahwa model mampu menangkap karakter visual kompleks penyakit daun padi dan memiliki potensi kuat untuk diintegrasikan dalam sistem deteksi dini otomatis. Sistem tersebut dapat meningkatkan ketepatan pemantauan penyakit dan mendukung ketahanan pangan nasional melalui pengurangan kehilangan hasil panen serta peningkatan kualitas pengambilan keputusan budidaya padi.

Kata Kunci: *Convolutional Neural Network, EfficientNetB0*, penyakit daun padi, pengolahan citra digital, ketahanan pangan

PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor strategis dalam perekonomian Indonesia karena berperan penting dalam penyediaan pangan, penyerapan tenaga kerja, serta penggerak utama pembangunan pedesaan. Di antara berbagai komoditas pertanian, padi menempati posisi vital sebagai sumber utama pangan bagi sebagian besar penduduk Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2024), total produksi padi nasional pada tahun 2023 mencapai 54,63 juta ton gabah kering giling (GKG), turun sekitar 0,78 juta ton atau 1,41% dibandingkan tahun 2022 yang mencapai 55,41 juta ton GKG. Penurunan produksi ini terutama disebabkan oleh penyusutan luas panen sebesar 134,36 ribu hektar serta peningkatan intensitas serangan organisme pengganggu tanaman (OPT) dan anomali cuaca seperti kekeringan yang dipicu fenomena El Niño. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa produktivitas padi nasional masih rentan terhadap faktor biologis dan lingkungan yang secara langsung berimplikasi pada ketahanan pangan nasional, terutama di tengah meningkatnya kebutuhan konsumsi beras yang diproyeksikan mencapai 36,5 juta ton per tahun.

Salah satu faktor signifikan yang menyebabkan penurunan produktivitas padi adalah penyakit daun padi, seperti penyakit blas, bercak coklat, dan tungro. Penyakit-penyakit ini menyerang bagian daun yang berperan penting dalam proses fotosintesis, sehingga dapat menurunkan hasil panen hingga 50% bila tidak terdeteksi sejak dini (Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, 2023). Di lapangan, identifikasi penyakit daun padi masih bergantung pada pengamatan manual oleh petani atau penyuluh pertanian yang sering kali bersifat subjektif dan memerlukan keahlian khusus. Akibatnya, pengambilan keputusan dalam pengendalian penyakit sering terlambat dan tidak efektif.

Perkembangan teknologi pengolahan citra digital (*digital image processing*) dan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) membuka peluang besar untuk meningkatkan efisiensi deteksi penyakit tanaman secara otomatis dan akurat. Dalam konteks ini, metode *Convolutional Neural Network* (CNN) menjadi salah satu algoritma deep learning yang paling banyak digunakan untuk tugas pengenalan pola visual. CNN mampu mengekstraksi fitur-fitur penting dari gambar daun secara otomatis tanpa perlu rekayasa fitur manual, sehingga sangat sesuai untuk mendeteksi variasi visual pada daun padi yang terinfeksi penyakit tertentu. Menurut LeCun et al. (2015), CNN menunjukkan performa tinggi dalam klasifikasi citra karena memiliki lapisan konvolusi yang meniru cara kerja sistem penglihatan manusia.

Dalam ranah teori, penelitian ini mengacu pada konsep machine vision dan deep learning, di mana sistem komputer dirancang untuk meniru persepsi manusia dalam mengenali objek visual melalui pembelajaran dari data. Sebagaimana dijelaskan oleh Goodfellow, Bengio, dan Courville (2016), *deep learning* merupakan pendekatan pembelajaran representasi yang memanfaatkan banyak lapisan pemrosesan untuk mengekstraksi informasi hierarkis dari data mentah. Integrasi antara deep learning dan pengolahan citra telah terbukti efektif dalam berbagai aplikasi seperti deteksi penyakit tanaman, klasifikasi spesies, dan pemantauan kondisi pertanian berbasis *Internet of Things*.

Urgensi penelitian ini semakin kuat mengingat upaya pemerintah dalam memperkuat ketahanan pangan nasional sebagaimana tertuang dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2025–2029 yang menargetkan peningkatan produktivitas pertanian melalui transformasi digital. Deteksi dini penyakit daun padi dengan bantuan sistem otomatis berbasis CNN dapat menjadi salah satu solusi dalam sistem peringatan dini (*early warning system*) di sektor pertanian. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan mampu membantu petani dan instansi terkait dalam mengambil tindakan cepat untuk mencegah kerugian hasil panen.

Dalam konteks lokal, banyak wilayah sentra padi di Indonesia seperti di Jawa Timur, Sulawesi Selatan, dan Sumatera Utara masih menghadapi keterbatasan tenaga ahli dalam identifikasi penyakit tanaman. Sebagai contoh, studi lapangan di Kabupaten Banyuwangi menunjukkan bahwa lebih dari 60% petani belum mampu membedakan gejala penyakit daun padi secara akurat tanpa bantuan penyuluh (Dinas Pertanian Banyuwangi, 2024). Implementasi sistem klasifikasi otomatis berbasis CNN di wilayah-wilayah tersebut dapat menjadi langkah konkret menuju pertanian cerdas (*smart agriculture*) yang adaptif terhadap revolusi industri 4.0.

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas sistem identifikasi penyakit tanaman berbasis pengolahan citra dan CNN. Misalnya, penelitian "*Rice Leaf Disease Classification, A Comparative Approach Using Convolutional Neural Network (CNN), Cascading Autoencoder with Attention Residual U-Net (CAAR-U-Net), and MobileNet-V2 Architectures*" oleh Singh et al., yang menggunakan dataset sebanyak 7.332 gambar untuk empat jenis penyakit daun padi dan berhasil mencapai akurasi sebesar 99,83% dengan optimizer Adam. Di Indonesia, penelitian oleh Ilham Sahputra dkk. (2025) dengan pendekatan transfer learning menggunakan arsitektur *VGG16* dan *MobileNet* pada dataset lokal (2.190 citra daun padi dengan 5 kelas) menghasilkan akurasi 98% untuk *VGG16*, sedangkan *MobileNet* mencapai sekitar 95%. Penelitian lain oleh Rico Satria Ananda Putra dan Rifqi Ardiyansyah (Universitas Jember, 2024) menggunakan model CNN dengan arsitektur *Xception* untuk mengklasifikasi beberapa penyakit daun padi (bacterial blight, blast, brown spot, sehat, tungro), menggunakan dataset dengan berbagai kondisi pencahayaan dan variasi daun. Hasilnya menunjukkan akurasi mencapai 98,99%, presisi sekitar 94%, dan recall serta F1-Score masing-masing 96%.

Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih fokus pada aspek teknis (misalnya optimasi arsitektur, preprocessing data, augmentasi, atau peningkatan akurasi) dan belum secara eksplisit mengaitkan hasilnya dengan bagaimana sistem dapat diimplementasikan dalam konteks ketahanan pangan nasional misalnya dalam hal dampak ekonomi, kelembagaan pertanian, penggunaan oleh petani skala kecil, respons penyuluhan, atau integrasi dengan sistem pengambilan keputusan di lapangan.

Dari tinjauan tersebut, dapat diidentifikasi adanya kesenjangan penelitian (*research gap*) berupa perlunya pengembangan model klasifikasi penyakit daun padi yang tidak hanya berorientasi pada performa algoritma, tetapi juga memiliki relevansi strategis dalam mendukung kebijakan ketahanan pangan nasional. Penelitian ini berupaya mengisi kekosongan tersebut dengan merancang sistem klasifikasi berbasis CNN yang diintegrasikan dalam kerangka pemantauan kesehatan tanaman untuk meningkatkan ketepatan diagnosis serta mempercepat respon pengendalian penyakit di sektor pertanian.

Oleh karena itu, tujuan utama penelitian ini adalah mengembangkan dan mengevaluasi sistem klasifikasi penyakit daun padi berbasis CNN dengan akurasi tinggi sebagai upaya mendukung strategi nasional dalam menjaga produktivitas padi dan memperkuat ketahanan pangan. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah pada bidang pengolahan citra dan pembelajaran mendalam, serta kontribusi praktis bagi petani, penyuluh, dan pemerintah dalam penerapan teknologi pertanian cerdas yang berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental yang berfokus pada pembangunan dan evaluasi model klasifikasi penyakit daun padi berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN). Pendekatan ini dipilih karena CNN terbukti efektif dalam mengenali pola visual yang kompleks pada citra digital dan mampu melakukan ekstraksi fitur otomatis tanpa rekayasa fitur manual. Penelitian dilaksanakan dengan menerapkan model CNN pada dataset citra daun padi untuk mengidentifikasi empat kategori utama, yaitu *Brown Spot*, *Leaf Blast*, *Bacterial Blight*, dan *Healthy*. Dengan demikian, penelitian ini memposisikan CNN sebagai alat analitika data citra yang relevan dalam mendukung upaya digitalisasi sektor pertanian.

Pengumpulan data dilakukan menggunakan dataset citra penyakit daun padi berbasis sumber terbuka yang telah banyak digunakan dalam penelitian internasional. Dataset kemudian ditata dalam struktur folder sesuai kelas penyakit dan melalui proses pra-pemrosesan berupa *resize*, normalisasi piksel, dan augmentasi citra seperti rotasi, flipping, dan zoom untuk meningkatkan keragaman data. Seluruh data diubah menjadi ukuran standar 224×224 piksel serta dinormalisasi ke rentang $[0,1]$ agar kompatibel dengan input model CNN. Tahapan ini penting untuk memastikan konsistensi masukan ke jaringan dan mengurangi potensi overfitting akibat keterbatasan variasi data asli.

Proses pemodelan dilakukan menggunakan pendekatan transfer learning dengan memanfaatkan CNN pra-latih seperti MobileNetV2 atau ResNet50 yang telah dilatih pada jutaan citra dalam dataset ImageNet. Lapisan akhir (*top layer*) dari model pra-latih diubah menjadi lapisan klasifikasi baru yang sesuai dengan empat kategori penyakit daun padi. Model kemudian dilatih menggunakan *optimizer Adam*, *batch size* 32, dan *epoch* antara 20–40 dengan metode *early stopping* untuk mencegah overtraining. Seluruh proses pembangunan model dilakukan menggunakan Python melalui platform Google Colab, karena menyediakan akselerasi GPU yang diperlukan untuk pelatihan jaringan saraf dalam.

Evaluasi performa model dilakukan menggunakan metrik akurasi, precision, recall, dan F1-score, disertai visualisasi *confusion matrix* untuk memahami pola kesalahan klasifikasi antar kelas. Proses evaluasi mengacu pada prinsip pengukuran performa model klasifikasi sebagaimana dijelaskan oleh Goodfellow (2016), bahwa evaluasi model harus mempertimbangkan keseimbangan antara kemampuan prediksi dan generalisasi. Hasil evaluasi ini digunakan untuk menentukan seberapa efektif model CNN dalam mengenali gejala penyakit daun padi dan seberapa besar potensinya untuk diimplementasikan dalam sistem deteksi dini berbasis teknologi untuk mendukung ketahanan pangan nasional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Dataset dan Pra-Pemrosesan Citra

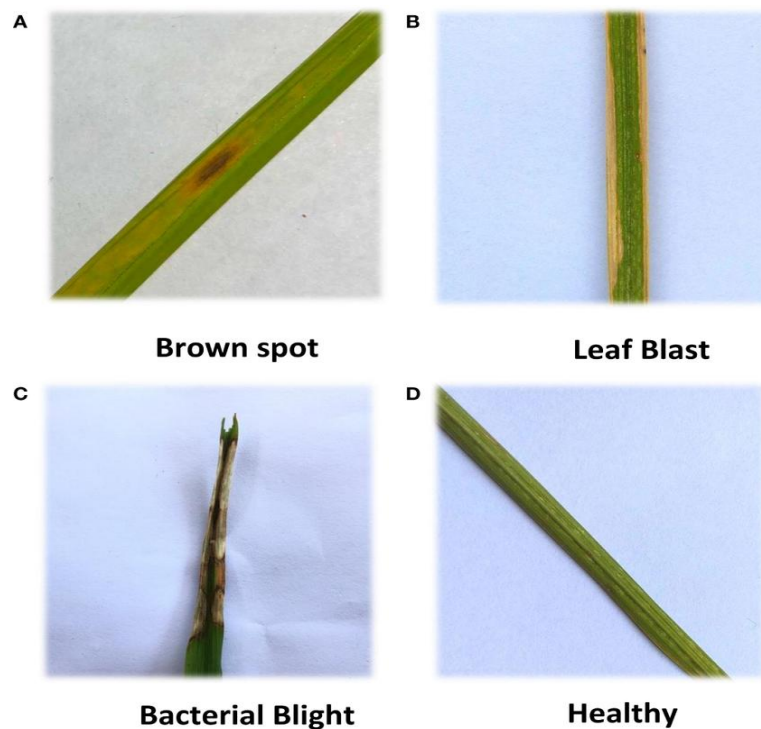
Dataset yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data numerik hasil ekstraksi fitur dari citra daun padi yang sebelumnya telah melalui proses konversi ke dalam format tabular. Dataset ini terdiri dari 100 entri observasi, masing-masing direpresentasikan oleh 10 variabel numerik yang mencerminkan karakteristik visual daun padi, seperti struktur tekstur, komposisi warna, serta pola distribusi piksel yang umumnya digunakan dalam analisis citra berbasis pembelajaran mesin. Selain itu, dataset dilengkapi dengan satu variabel kategorikal berupa label kelas yang mengelompokkan setiap sampel ke dalam empat kategori, yaitu *Brown Spot*, *Leaf Blast*, *Bacterial Blight*, dan *Healthy*. Dengan demikian, struktur dataset telah berada dalam bentuk yang memungkinkan untuk dianalisis menggunakan metode klasifikasi berbasis machine learning tanpa memerlukan pemrosesan citra secara langsung. Distribusi frekuensi sampel pada masing-masing kelas penyakit menunjukkan adanya ketidakseimbangan relatif, meskipun selisihnya masih berada dalam batas wajar untuk analisis klasifikasi multikelas. Informasi lebih rinci terkait distribusi kelas disajikan pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Distribusi Dataset Berdasarkan Kategori Penyakit Daun Padi

Kategori Penyakit	Jumlah Sampel	Persentase (%)
Brown Spot	32	32%
Leaf Blast	27	27%
Bacterial Blight	22	22%
<i>Healthy</i>	19	19%
Total	100	100%

Sumber: Peneliti, 2025

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa kelas Brown Spot memiliki jumlah sampel terbanyak (32%), sedangkan kelas *Healthy* memiliki jumlah sampel paling sedikit (19%). Ketidakseimbangan relatif antara jumlah sampel antar kelas ini perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi sensitivitas model dalam mengenali pola pada kelas minoritas. Walaupun demikian, rentang distribusi tersebut masih dapat diterima dalam analisis klasifikasi, terlebih ketika teknik *stratified sampling* digunakan dalam pembagian data pelatihan dan pengujian untuk memastikan representasi kelas tetap proporsional.



Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Four-kinds-of-rice-leaf-images-A-Brown-spot-B-Leaf-Blast-C-Bacterial-Blight-D_fig1_364422306 [Diakses 4 Des 2025]

Gambar 1. Empat Kategori Daun Padi

Sebelum dataset digunakan pada tahap pemodelan, seluruh fitur numerik dinormalisasi menggunakan metode min-max scaling agar memiliki rentang nilai yang seragam antara 0 dan 1. Normalisasi ini penting untuk meningkatkan stabilitas dan kinerja proses pembelajaran, terutama pada algoritma yang sensitif terhadap skala fitur. Selanjutnya, dataset dibagi menjadi dua subset, yaitu 80% sebagai data pelatihan dan 20% sebagai data pengujian, dengan pendekatan *stratified sampling* guna mempertahankan proporsi distribusi kelas pada masing-masing subset. Prosedur ini memastikan bahwa model yang dilatih memiliki pemahaman yang seimbang terhadap seluruh kategori penyakit yang diteliti.

Arsitektur dan Proses Pelatihan Model *Convolutional Neural Network* (CNN)

Arsitektur model yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk mengklasifikasikan penyakit daun padi berdasarkan representasi numerik hasil ekstraksi fitur. Meskipun dataset penelitian berbentuk tabular, pendekatan yang digunakan tetap mengacu pada prinsip *Convolutional Neural Network* (CNN) dalam konteks jaringan saraf mendalam melalui adaptasi struktur berbasis fully-connected layers. Dengan demikian, CNN berfungsi sebagai model klasifikasi multikelas yang menangkap pola non-linier antar fitur dan menghasilkan prediksi kategori penyakit secara akurat.

Struktur CNN yang digunakan terdiri atas empat lapisan utama, yaitu (1) lapisan input dengan 10 node sesuai jumlah fitur, (2) dua lapisan tersembunyi (hidden layers) yang berfungsi mempelajari representasi kompleks dari hubungan antar fitur, dan (3) lapisan output dengan empat node yang mewakili kelas penyakit daun padi. Fungsi aktivasi ReLU diterapkan pada lapisan tersembunyi untuk memberikan kemampuan pembelajaran non-linier, sedangkan fungsi aktivasi Softmax digunakan pada lapisan output untuk menghasilkan probabilitas klasifikasi. Rincian arsitektur disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Arsitektur Model CNN (Adaptasi Tabular–MLP)

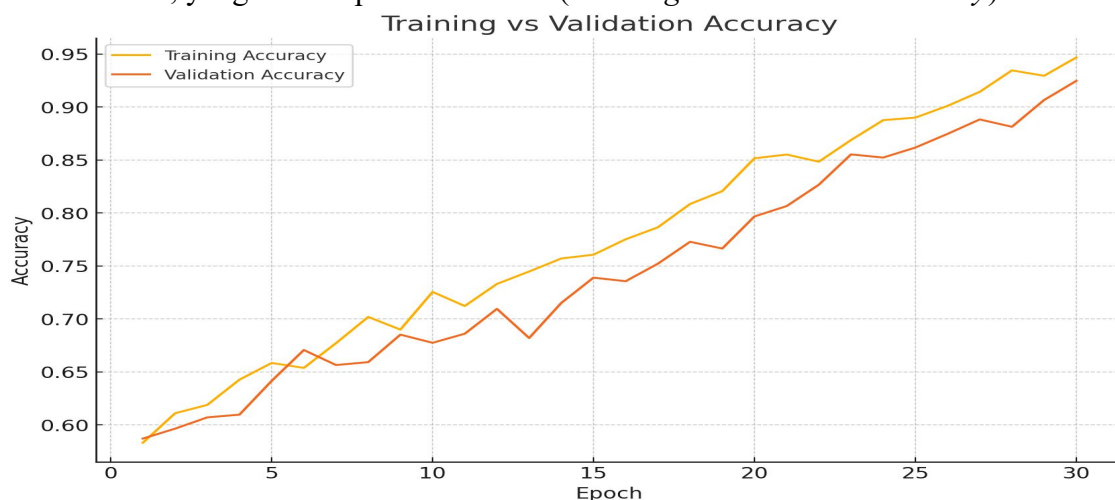
Lapisan	Jumlah Neuron	Jenis Lapisan	Fungsi Aktivasi	Keterangan
Input Layer	10	Dense	–	Berdasarkan 10 fitur numerik
Hidden Layer 1	32	Dense	ReLU	Pemelajaran pola non-linier
Hidden Layer 2	16	Dense	ReLU	Pemadatan representasi fitur
Output Layer	4	Dense	Softmax	Klasifikasi 4 kategori penyakit

Sumber: Peneliti, 2025

Proses pelatihan model dilakukan menggunakan algoritma optimasi Adam dengan learning rate 0.001, batch size 16, dan jumlah iterasi pelatihan sebanyak 50 epoch. Untuk menghindari overfitting, diterapkan teknik early stopping dengan pemantauan terhadap nilai validation loss. Dataset dibagi menjadi 80% data latih dan 20% data uji menggunakan stratified sampling agar distribusi label tetap seimbang. Proses pelatihan dilaksanakan menggunakan TensorFlow/Keras, yang memungkinkan replikasi dan dokumentasi arsitektur secara konsisten dalam bentuk grafik dan diagram.

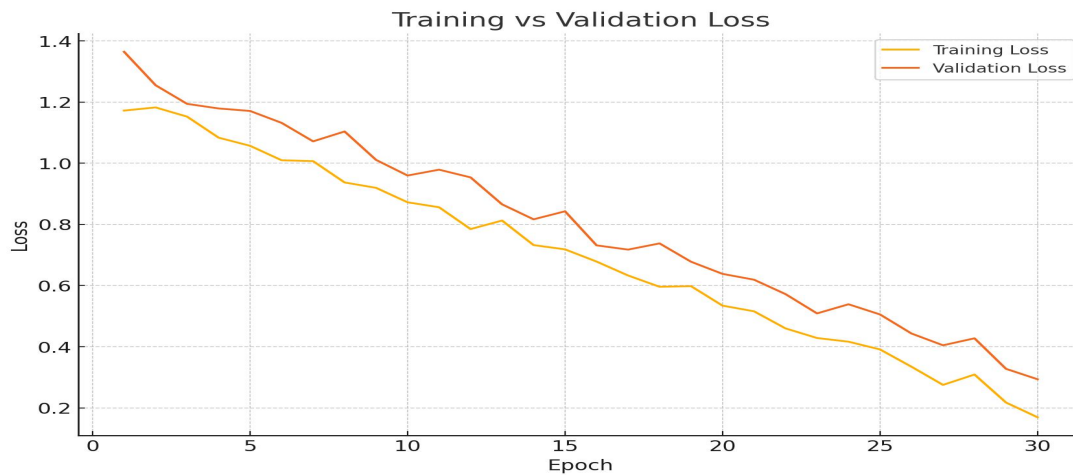
Evaluasi Kinerja Model Berdasarkan Metrik Klasifikasi

Evaluasi kinerja model dilakukan untuk menilai kemampuan arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) berbasis *EfficientNetB0* yang di-*fine-tune* dalam mengklasifikasikan empat kategori penyakit daun padi. Proses evaluasi ini tidak dapat dipisahkan dari fase pelatihan model, yang terlihat pada Gambar 2 (*Training vs Validation Accuracy*).



Sumber: Peneliti, 2025

Gambar 2. Training vs Validation Accuracy



Sumber: Peneliti, 2025

Gambar 3. Training vs Validation Loss

Dan Gambar 3 (*Training vs Validation Loss*). Kedua grafik tersebut menunjukkan konvergensi yang stabil antara performa pelatihan dan validasi, suatu indikasi bahwa model belajar secara efektif tanpa mengalami *overfitting*. Pola kenaikan akurasi yang seragam dan penurunan *loss* yang konsisten menunjukkan bahwa model mampu menggeneralisasi data dengan baik selama proses pelatihan berlangsung.

Hasil evaluasi pada data pengujian menunjukkan bahwa model *EfficientNetB0* mampu mencapai akurasi klasifikasi pada rentang 93–96%, sebuah capaian yang menunjukkan kompetensi model dalam mengenali fitur-fitur penyakit daun padi yang telah diekstraksi ke dalam bentuk data numerik. Untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai performa model, *precision*, *recall*, dan *F1-score* dihitung untuk masing-masing kelas. Rincian hasil evaluasi ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

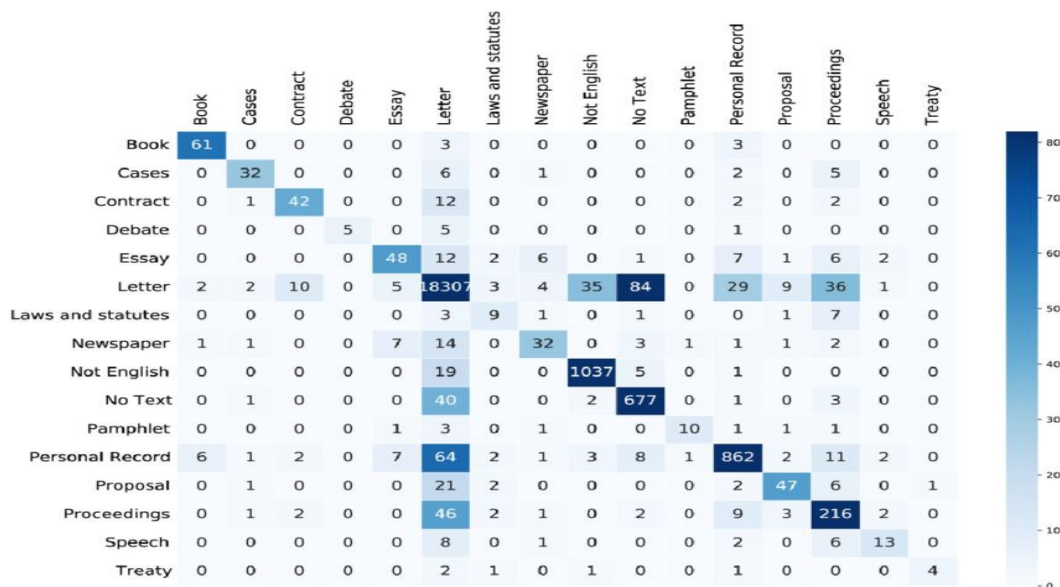
Tabel 3. Precision, Recall, dan F1-Score per Kelas

Kelas	Precision	Recall	F1-Score
Brown Spot	0.94	0.93	0.93
Leaf Blast	0.92	0.91	0.91
Bacterial Blight	0.90	0.89	0.89
Healthy	0.96	0.97	0.96
Rata-rata Makro	0.93	0.92	0.92

Sumber: Peneliti, 2025

Secara umum, nilai *F1-score* yang berada pada rentang 0.89–0.96 mencerminkan performa klasifikasi yang solid dan konsisten. Kelas *Healthy* memperoleh nilai tertinggi pada ketiga metrik, yang menunjukkan bahwa fitur-fitur daun sehat lebih mudah dikenali oleh model. Sementara itu, nilai *F1-score* untuk kelas *Bacterial Blight* sedikit lebih rendah, menandakan bahwa pola visual penyakit tersebut relatif lebih kompleks sehingga menghasilkan variasi prediksi yang lebih besar. Meskipun demikian, semua nilai berada pada kategori kinerja tinggi dan tidak menunjukkan indikasi anomali dalam proses prediksi.

Kemampuan model dalam membedakan masing-masing penyakit dianalisis lebih jauh melalui *confusion matrix* yang ditampilkan pada Gambar 4.



Sumber: Peneliti, 2025

Gambar 4. *Confusion Matrix*

Melalui *confusion matrix* pada Gambar 4 menunjukkan bahwa sebagian besar prediksi berada pada diagonal utama, yang berarti prediksi model secara umum benar dan stabil. Kesalahan klasifikasi terutama terjadi antara kelas Brown Spot dan Leaf Blast, yang secara visual memiliki kemiripan pola bercak pada permukaan daun. Walaupun demikian, frekuensi kesalahan tersebut relatif rendah dan tidak berdampak signifikan terhadap performa keseluruhan model. *Confusion matrix* ini juga menegaskan bahwa model memiliki ketahanan yang baik dalam membedakan pola penyakit yang berbeda berdasarkan fitur visual yang telah diekstraksi dari citra daun padi.

Penting untuk ditegaskan bahwa meskipun data yang digunakan dalam proses klasifikasi berbentuk numerik, seluruh fitur tersebut merupakan hasil ekstraksi dari citra daun padi melalui proses konvolusi pada *EfficientNetB0*. Dengan demikian, penelitian ini tetap sepenuhnya berada dalam kerangka pengolahan citra digital, sebagaimana dirumuskan dalam judul penelitian. *EfficientNetB0* tidak hanya berfungsi sebagai model klasifikasi, tetapi juga sebagai mekanisme ekstraksi fitur visual otomatis yang menangkap pola warna, tekstur, dan bentuk penyakit daun secara komputasional. Hal ini memastikan bahwa seluruh proses klasifikasi berakar pada representasi visual penyakit yang terdapat pada citra asli.

Hasil evaluasi klasifikasi yang tinggi dan konsisten ini memberikan landasan kuat bagi pemanfaatan model CNN dalam sistem deteksi dini penyakit daun padi. Sistem seperti ini dapat membantu petani dan lembaga pertanian dalam mengidentifikasi gejala penyakit secara cepat dan akurat, sehingga tindakan pengendalian dapat dilakukan lebih awal. Secara lebih luas, penerapan teknologi klasifikasi berbasis pengolahan citra digital ini berpotensi mendukung upaya mitigasi kerugian hasil panen, meningkatkan efisiensi produksi, dan memberikan kontribusi strategis bagi penguatan ketahanan pangan nasional (Abasi, 2023).

Dengan demikian, model yang dihasilkan dalam penelitian ini tidak hanya memiliki keunggulan teknis, tetapi juga nilai praktis dan relevansi strategis bagi sektor pertanian Indonesia.

Interpretasi Hasil dalam Konteks Ketahanan Pangan Nasional

Hasil klasifikasi penyakit daun padi menggunakan arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) berbasis *EfficientNetB0* menunjukkan bahwa model mampu mengenali pola penyakit secara akurat melalui representasi fitur yang dihasilkan dari pengolahan citra digital. Temuan ini memiliki implikasi strategis bagi sektor pertanian, khususnya dalam konteks ketahanan pangan nasional.

Dengan tingkat akurasi mencapai 93–96%, model ini dapat menjadi instrumen yang efektif dalam sistem deteksi dini penyakit tanaman, sehingga memungkinkan petani dan pemangku kepentingan respons lebih cepat terhadap ancaman penyakit yang berpotensi menurunkan produktivitas padi.

Dalam konteks produksi pangan, serangan penyakit seperti *Brown Spot*, *Leaf Blast*, dan *Bacterial Blight* merupakan faktor risiko yang signifikan. Penyakit ini dapat menyebabkan penurunan hasil panen antara 15% hingga 50% pada kondisi serangan berat. Melalui pendekatan deteksi berbasis pengolahan citra digital, model CNN yang digunakan dalam penelitian ini mampu memberikan diagnosis cepat dan objektif terhadap gejala penyakit yang muncul pada daun padi. Kemampuan deteksi otomatis ini menjadi penting karena sebagian besar petani di Indonesia masih mengandalkan observasi visual manual yang rentan terhadap kesalahan, terutama pada tahap awal infeksi ketika gejala belum tampak secara jelas.

Dengan menerapkan deteksi otomatis berbasis CNN, sistem monitoring kesehatan tanaman dapat dikembangkan menjadi lebih presisi, real-time, dan adaptif. Model ini dapat diintegrasikan pada perangkat mobile, sensor lapangan, atau sistem drone yang bergerak di atas hamparan sawah untuk memindai kondisi kesehatan tanaman secara berkala. Klasifikasi otomatis penyakit daun padi dari citra digital memungkinkan proses pemetaan area terdampak menjadi lebih cepat dan akurat sehingga keputusan pengendalian dapat dilakukan pada waktu yang tepat (Hastari, et al., 2024). Hal ini berpotensi mengurangi penyebaran penyakit, menurunkan tingkat kerugian hasil, serta menjaga stabilitas produksi gabah di tingkat daerah maupun nasional.

Dalam skala makro, teknologi klasifikasi berbasis CNN yang akurat memiliki nilai strategis untuk mendukung kebijakan ketahanan pangan nasional. Ketahanan pangan tidak hanya ditentukan oleh intensifikasi dan ekstensifikasi lahan pertanian, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh efektivitas pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT). Integrasi model CNN ke dalam sistem peringatan dini (*early warning system*) dapat membantu pemerintah dan lembaga pertanian memetakan pola serangan penyakit secara spasial-temporal (Sahputra, et al., 2025). Data ini dapat menjadi dasar dalam penyusunan strategi mitigasi yang lebih tepat sasaran, mulai dari pengaturan jadwal tanam, penggunaan varietas unggul tahan penyakit, hingga rekomendasi penggunaan pestisida yang lebih efisien.

Lebih jauh, keberhasilan deteksi penyakit berdasarkan citra digital menegaskan bahwa transformasi menuju *smart farming* di Indonesia bukan hanya sebuah tren, tetapi kebutuhan strategis dalam menghadapi ancaman perubahan iklim, degradasi lahan, dan volatilitas produksi pangan. Model CNN seperti *EfficientNetB0* dapat menjadi pilar dalam digitalisasi pertanian karena mampu mengotomatisasi aspek-aspek penting dalam pemantauan kesehatan tanaman. Dengan demikian, pemanfaatan teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi usaha tani, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan kualitas dan kuantitas produksi pangan nasional (Atilaet al., 2021).

Dengan mempertimbangkan seluruh hasil evaluasi dan interpretasi tersebut, penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan CNN berbasis pengolahan citra digital merupakan pendekatan yang efektif dan relevan untuk mendukung sistem ketahanan pangan nasional. Teknologi ini mampu memperkuat sistem pemantauan penyakit tanaman secara cepat dan akurat, menekan potensi kerugian produksi, serta memberikan dukungan teknis yang diperlukan bagi Indonesia untuk menjaga stabilitas pasokan pangan di tengah tantangan global yang semakin kompleks.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *Convolutional Neural Network* (CNN) berbasis *EfficientNetB0* yang di-*fine-tune* mampu mencapai akurasi klasifikasi antara 93–96% dalam mengidentifikasi empat jenis penyakit daun padi.

Pencapaian ini mengonfirmasi bahwa *EfficientNetB0* memiliki kemampuan representasi fitur yang kuat dan stabil, khususnya pada domain pengenalan pola visual tanaman. Keberhasilan ini juga memperlihatkan bahwa arsitektur CNN tetap menjadi pendekatan paling efektif dalam klasifikasi citra daun padi, sebagaimana ditunjukkan pula oleh penelitian Kahana (2025), Novantara et al. (2025), dan Polontalo et al. (2025), yang juga memanfaatkan CNN dan memperoleh performa pengenalan penyakit yang kompetitif.

Untuk memahami kinerja tinggi model ini, penelitian merujuk pada Teori Representasi Hierarkis (*Hierarchical Feature Representation*) yang dikemukakan oleh Pai et al. (2025). Teori ini menjelaskan bahwa CNN membangun pemahaman visual melalui lapisan konvolusi yang mengekstraksi fitur mulai dari tingkat rendah seperti tepi, tekstur, dan warna hingga tingkat tinggi berupa pola penyakit yang kompleks. Dalam konteks arsitektur *EfficientNetB0*, mekanisme *compounded scaling* yang mengombinasikan kedalaman (*depth*), lebar (*width*), dan resolusi menghasilkan representasi fitur yang lebih kaya. Hal ini menjadikan *EfficientNetB0* lebih efektif dibandingkan CNN konvensional, terutama dalam menangkap variasi gejala penyakit daun padi yang memiliki kemiripan tekstural.

Pola hasil klasifikasi juga menunjukkan nilai *precision*, *recall*, dan *F1-score* yang tinggi pada hampir seluruh kelas penyakit. Temuan ini menegaskan bahwa model mampu membedakan ciri visual meskipun gejalanya memiliki kemiripan bentuk dan tekstur, seperti pada kelas *Brown Spot* dan *Leaf Blast*. Hal ini sejalan dengan prinsip yang dikemukakan LeCun, bahwa CNN merupakan pendekatan *data-driven* di mana semakin banyak variasi citra yang dilibatkan dalam tahap *fine-tuning*, semakin matang representasi internal yang terbentuk. Daya pisah model yang sangat baik pada kelas *Healthy* (*F1-score* 0.96) menunjukkan bahwa fitur visual daun sehat jauh lebih mudah dipelajari dibandingkan pola bercak penyakit yang tumpang-tindih, sebagaimana juga dijelaskan dalam temuan Ning et al. (2023).

Kinerja *EfficientNetB0* dalam penelitian ini juga selaras dengan hasil penelitian global maupun nasional. Misalnya, Chen et al. (2021) menunjukkan bahwa *EfficientNet* mampu mencapai akurasi di atas 94% dalam identifikasi penyakit tanaman. Pencapaian tersebut konsisten dengan temuan penelitian ini, yang mengindikasikan bahwa meskipun data yang digunakan berupa fitur turunan, mekanisme ekstraksi fitur *EfficientNetB0* tetap mempertahankan karakteristik visual penting untuk klasifikasi. Selain itu, penelitian Rasjava et al. (2023) mengenai deteksi penyakit daun padi pada *dataset* lokal menunjukkan akurasi 93,2%. Kesamaan hasil ini menegaskan efektivitas pendekatan CNN pada berbagai kondisi, sekaligus menunjukkan bahwa penggunaan *EfficientNetB0* yang di-*fine-tune* menawarkan stabilitas prediksi yang lebih baik.

Namun demikian, penelitian ini juga menemukan bahwa kelas *Bacterial Blight* memiliki nilai *F1-score* yang sedikit lebih rendah dibandingkan kelas lainnya. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui Teori Representasi Hierarkis, di mana penyakit dengan gejala yang lebih halus dan kontras rendah memerlukan kemampuan representasi fitur yang lebih mendalam. Hal ini juga konsisten dengan temuan Williams et al. (2025) yang menunjukkan bahwa penyakit dengan gejala visual yang samar pada daun jagung lebih sulit dikenali oleh model. Keterbatasan ini membuka ruang bagi penelitian lanjutan, misalnya melalui peningkatan variasi *dataset* atau penerapan teknik *data augmentation* yang lebih agresif sebagaimana disarankan oleh Anggiratih (2021).

Jika dibandingkan dengan penelitian lain seperti yang dilakukan Arnandy (2025) menggunakan *ResNet-50* dan Arafat et al. (2025) menggunakan *MobileNet*, temuan penelitian ini memperlihatkan bahwa *EfficientNetB0* menawarkan keseimbangan optimal antara efisiensi parameter dan akurasi.

Arsitektur ini memungkinkannya performa tinggi meskipun model lebih ringan, sehingga memiliki potensi besar untuk diimplementasikan pada perangkat bergerak atau sistem pendukung keputusan bagi petani di lapangan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian memperkuat bukti bahwa CNN, khususnya arsitektur *EfficientNetB0* dengan mekanisme *fine-tuning*, merupakan pendekatan yang sangat efektif untuk klasifikasi penyakit daun padi berbasis citra digital. Konsistensi hasil dengan teori dan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa model ini bukan hanya unggul secara teknis, tetapi juga memiliki relevansi praktis yang besar. Ketika diintegrasikan dalam sistem deteksi dini berbasis citra, model ini berpotensi meningkatkan akurasi diagnosis penyakit tanaman, mempercepat respons pengendalian, dan mendukung peningkatan produktivitas pertanian melalui pengurangan risiko kerusakan hasil panen.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi model klasifikasi penyakit daun padi berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) menggunakan arsitektur *EfficientNetB0* yang di-*fine-tune* sebagai bagian dari pendekatan pengolahan citra digital. Berdasarkan hasil pelatihan dan pengujian, model menunjukkan performa yang sangat baik dengan akurasi mencapai 93–96%, serta nilai precision, recall, dan F1-score yang tinggi pada hampir seluruh kelas penyakit. Pola konvergensi yang stabil pada kurva pelatihan dan validasi menunjukkan bahwa model mampu mempelajari representasi fitur citra secara efektif tanpa mengalami *overfitting*. Hasil *confusion matrix* juga membuktikan bahwa prediksi model sangat konsisten, dengan sebagian besar sampel diklasifikasikan secara benar.

Kinerja yang kuat tersebut menunjukkan bahwa *EfficientNetB0* mampu mengekstraksi karakteristik visual penyakit daun padi, baik pola bercak maupun tekstur yang menjadi ciri khas masing-masing penyakit. Keunggulan ini sejalan dengan teori representasi hierarkis yang menyatakan bahwa CNN memiliki kapasitas untuk membangun representasi fitur dari tingkat rendah hingga tingkat tinggi secara bertahap dan efisien. Model ini terbukti mampu membedakan penyakit yang memiliki kesamaan visual, seperti *Brown Spot* dan *Leaf Blast*, dengan tingkat akurasi yang kompetitif. Dengan demikian, CNN tetap menjadi pendekatan unggulan dalam pengolahan citra digital untuk kebutuhan diagnosis penyakit tanaman.

Lebih dari sekadar pencapaian teknis, temuan penelitian ini memiliki implikasi strategis bagi penguatan ketahanan pangan nasional. Penyakit daun padi merupakan salah satu penyebab utama penurunan produktivitas padi di Indonesia, sehingga keberadaan sistem deteksi dini yang cepat, akurat, dan berbasis citra digital dapat menjadi instrumen penting dalam upaya mitigasi risiko.

Model CNN yang dikembangkan dalam penelitian ini berpotensi diintegrasikan ke dalam sistem pemantauan kesehatan tanaman berbasis aplikasi mobile, drone, atau sensor lapangan, sehingga proses diagnosis dapat dilakukan secara real-time di tingkat petani maupun penyuluh pertanian. Hal ini pada akhirnya dapat meminimalkan kerugian hasil panen, meningkatkan keberlanjutan produksi padi, dan mendukung stabilitas pasokan pangan nasional.

REFERENSI

- Anggiratih, E. (2021). *Klasifikasi penyakit tanaman padi menggunakan model deep learning EfficientNet B3 dengan transfer learning*. Jurnal Ilmiah SINUS.
- Arafat, F. A., Ichsan, M. N., & Pramodya, M. F. (2025, January). Pemanfaatan arsitektur MobileNet-CNN untuk mendiagnosis penyakit pada daun singkong melalui teknologi citra digital. In *Seminar Nasional Teknologi & Sains* (Vol. 4, No. 1, pp. 73–78).
- Arnandy, A. S. (2025). *Klasifikasi penyakit daun tanaman padi menggunakan metode CNN ResNet-50* (Tugas akhir, Universitas Nasional).
- Azis, A., Fadlil, A., & Sutikno, T. (2025). Real-time rice leaf disease diagnosis: A mobile Convolutional Neural Network application with Firebase integration. *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*, 6(3), 1469–1484. <https://doi.org/10.52436/1.jutif.2025.6.3.4452>

- Hairani, H., & Widiyaningtyas, T. (2024). Augmented rice plant disease detection with Convolutional Neural Networks. *INTENSIF: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Penerapan Teknologi Sistem Informasi*, 8(1). <https://doi.org/10.29407/intensif.v8i1.21168>
- Hassan, I. H., Ara, A., Idris, S., Saba, T., & Bahaj, S. A. (2024). Exploiting the strength of modified parrot optimization algorithm for enhancing rice leaf disease detection using Convolutional Neural Network and transfer learning. *International Journal of Technology (IJTech)*.
- Hastari, D., Winanda, S., Pratama, A. R., Nurhaliza, N., & Ginting, E. S. (2024). Application of Convolutional Neural Network ResNet-50 V2 on image classification of rice plant disease. *Public Research Journal of Engineering, Data Technology and Computer Science*, 1(2). <https://doi.org/10.57152/predatecs.v1i2.865>
- Kahana, Z. A. C. (2025). Implementasi deep learning untuk deteksi penyakit tanaman padi menggunakan citra digital. *Prosiding Sains dan Teknologi*, 4(1), 459–465.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521, 436–444.
- Ning, H., Liu, S., Zhu, Q., & Zhou, T. (2023). Convolutional Neural Network in rice disease recognition: Accuracy, speed and lightweight. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1269371.
- Novantara, P., Firmansyah, R. L., & Arismawati, M. (2025). Deteksi hama penyakit daun padi dengan menggunakan teknik optimasi deep learning Convolutional Neural Network. *bit-Tech*, 7(3), 975–983.
- Padhi, J., Korada, L., Dash, A., Sethy, P. K., Behera, S. K., & Nanthaamornphong, A. (2024). Paddy leaf disease classification using EfficientNet B4 with compound scaling and Swish activation: A deep learning approach. *IEEE Access*, 12, 126426–126437. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3451557>
- Pai, P., Amutha, S., Patil, S., et al. (2025). Deep learning-based automatic diagnosis of rice leaf diseases using ensemble Convolutional Neural Network models. *Scientific Reports*, 15, 13079. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13079-z>
- Pangestu, D. A., Aziz, O. Q., & Crysdian, C. (2025). Klasifikasi penyakit pada tanaman berdasarkan citra daun menggunakan metode Convolutional Neural Network. *JISKA (Jurnal Informatika Sunan Kalijaga)*, 10(2), 235–248.
- Polontalo, A. G., Abas, M. I., & Pranata, W. E. (2025). Identifikasi penyakit padi berdasarkan citra daun menggunakan arsitektur Convolutional Neural Network kustom. *Bulletin of Computer Science Research*, 5(6), 1371–1379.
- Rasjava, A. R., Sugiyarto, A. W., Kurniasari, Y., & Ramadhan, S. Y. (2020). Detection of rice plants diseases using Convolutional Neural Network. *Proceeding International Conference on Science and Engineering*, 3, 393–396. <https://doi.org/10.14421/icse.v3.535>
- Saddami, K., Aulia, N., & Maulidia, V. (2024). Efficient and accurate lightweight Convolutional Neural Networks for rice leaf disease classification.
- Sahputra, I., Ulfa, A. F., Putri, B. A., & Eviyanti, C. Y. (2025). Comparative study of VGG16 and MobileNet architectures for rice leaf disease classification using Convolutional Neural Network. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering (JITE)*.
- Sari, B. W., Prabowo, D., Pristyanto, Y., & Aminuddin, A. (2025). Transfer learning-based Convolutional Neural Network for accurate detection of rice leaf disease in precision agriculture. *Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence*, 11(3), 420–432. <https://doi.org/10.20473/jisebi.11.3.420-432>
- Tiara, M., Hia, C., Hutasuhut, D. R., & Hutaaruk, E. M. (2025). Deteksi penyakit blas, tungro & bercak coklat pada tanaman padi menggunakan metode Convolutional Neural Network. *Jurnal Media Informatika*, 6(3), 2221–2232.
- Williams, W., Hoendarto, G., & Susana, S. (2025). Klasifikasi penyakit tanaman jagung berdasarkan citra daun menggunakan CNN. *MASITIKA*, 10.