Klasifikasi Tingkat Kerapatan Tajuk Kelapa Sawit Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN) Berdasarkan Citra Drone

Muhammad Apriliansyah Rahmadhani, Maria A Kartawijaya

Program Studi Bisnis Digtal Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Baturaja, Jl. Ratu Penghulu No. 2301, Kelurahan Karang Sari/Tungku Jaya, Kecamatan Baturaja Timur, Kabupaten Ogan Komering Ulu (OKU), Sumatera Selatan 32115.
Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jakarta, Jalan Raya Cisauk Lapan No. 10, Sampora, Cisauk, Tangerang, Banten 15345.
Apriubr@gmail.com, maria.kw@atmajaya.ac.id

(Received: Juni 2026, Revised: Agustus 2026, Accepied: Oktober 2026)

Abstract- Monitoring the canopy density of oil palm plantations is essential for assessing plant health, optimizing plantation management, and improving productivity. Conventional monitoring methods generally rely on field observations, which are time-consuming, labor-intensive, and often less efficient for large-scale plantations. The advancement of unmanned aerial vehicle (UAV) technology and deep learning offers an alternative solution for automated canopy analysis. This study aims to classify oil palm canopy density levels using the Convolutional Neural Network (CNN) method based on drone imagery. The dataset was acquired using drone flights over oil palm plantation areas and subsequently preprocessed through cropping, resizing, and data augmentation techniques. The canopy density was categorized into three classes: low, medium, and high. A CNN model was developed and trained to automatically extract image features and perform classification. Model performance was evaluated using accuracy, precision, recall, and F1-score metrics. The experimental results indicate that the proposed CNN-based approach effectively classifies oil palm canopy density with high performance. The integration of drone imagery and deep learning provides a rapid, accurate, and efficient solution for supporting precision agriculture and sustainable plantation management.
Keyword: Oil Palm, Canopy Density, Drone Imagery, Convolutional Neural Network, Image Classification, Precision Agriculture.

***I**ntisari - Pemantauan tingkat kerapatan tajuk kelapa sawit merupakan aspek penting dalam mendukung pengelolaan perkebunan yang efektif dan berkelanjutan. Informasi mengenai kerapatan tajuk dapat digunakan untuk mengevaluasi kesehatan tanaman, mengidentifikasi pertumbuhan, serta membantu pengambilan keputusan dalam manajemen perkebunan. Metode pemantauan konvensional melalui survei lapangan memiliki keterbatasan karena membutuhkan waktu, biaya, dan tenaga yang besar, terutama pada area perkebunan yang luas. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan tingkat kerapatan tajuk kelapa sawit menggunakan metode Convolutional Neural Network (CNN) berdasarkan citra drone. Data penelitian diperoleh melalui pengambilan citra udara menggunakan drone dan diproses melalui tahapan prapemrosesan, meliputi cropping, resizing, dan augmentasi data. Tingkat kerapatan tajuk dikategorikan menjadi tiga kelas, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Model CNN dilatih untuk mengekstraksi fitur citra secara otomatis dan melakukan klasifikasi tingkat kerapatan tajuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode CNN mampu mengklasifikasikan kerapatan tajuk secara efektif dengan tingkat akurasi yang tinggi. Integrasi citra drone dan deep learning memberikan solusi pemantauan perkebunan yang cepat, akurat, dan efisien.*
Kata Kunci: Kelapa Sawit, Kerapatan Tajuk, Citra Drone, Convolutional Neural Network, Klasifikasi Citra, Deep Learning.

I. PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis yang berperan penting dalam perekonomian Indonesia. Sebagai salah satu produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia, Indonesia memiliki areal perkebunan kelapa sawit yang sangat luas dan tersebar di berbagai wilayah. Produktivitas perkebunan kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh kondisi tanaman, salah satunya adalah tingkat kerapatan tajuk. Kerapatan tajuk dapat mencerminkan kesehatan tanaman, tingkat pertumbuhan, serta kondisi lingkungan sekitar tanaman. Oleh karena itu, pemantauan tingkat kerapatan tajuk menjadi aspek penting dalam mendukung pengelolaan perkebunan yang efektif dan berkelanjutan. Metode pemantauan konvensional umumnya dilakukan melalui survei lapangan secara langsung. Meskipun metode ini mampu memberikan informasi yang cukup akurat, pelaksanaannya memerlukan waktu, biaya, dan tenaga kerja yang besar, terutama pada area perkebunan yang luas. Selain itu, proses pengamatan manual rentan terhadap subjektivitas pengamat dan keterlambatan dalam memperoleh informasi. Kondisi tersebut mendorong perlunya penerapan teknologi yang mampu melakukan pemantauan secara cepat, akurat, dan efisien. Perkembangan teknologi penginderaan jauh menggunakan pesawat tanpa awak atau drone telah membuka peluang baru dalam pengelolaan perkebunan modern. Drone mampu menghasilkan citra udara dengan resolusi tinggi yang dapat dimanfaatkan untuk memantau kondisi tanaman secara berkala. Pemanfaatan citra drone memungkinkan pengamatan area perkebunan secara menyeluruh dalam

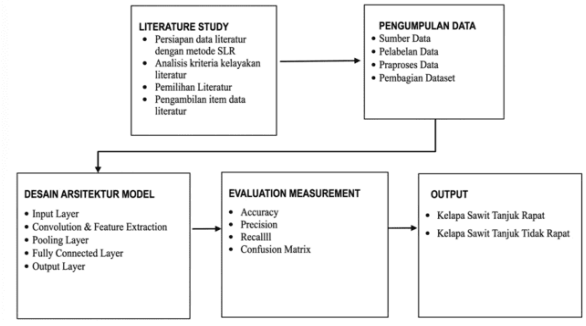
P-ISSN 1858-2680
E-ISSN 2723-4673

waktu yang relatif singkat dibandingkan metode konvensional. Namun, jumlah data citra yang besar memerlukan metode analisis otomatis agar informasi yang diperoleh dapat diolah secara efektif.

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam analisis citra adalah deep learning, khususnya metode Convolutional Neural Network (CNN). CNN merupakan algoritma pembelajaran mendalam yang memiliki kemampuan tinggi dalam mengekstraksi fitur visual secara otomatis dan melakukan klasifikasi citra dengan akurasi yang baik. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa CNN efektif digunakan dalam bidang pertanian, seperti identifikasi penyakit tanaman, deteksi objek, dan klasifikasi kondisi vegetasi. Oleh karena itu, penerapan CNN pada citra drone berpotensi menjadi solusi yang efektif untuk mengklasifikasikan tingkat kerapatan tajuk kelapa sawit. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model klasifikasi tingkat kerapatan tajuk kelapa sawit menggunakan metode Convolutional Neural Network (CNN) berdasarkan citra drone. Tingkat kerapatan tajuk diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori untuk mendukung proses monitoring dan pengambilan keputusan dalam pengelolaan perkebunan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam penerapan teknologi kecerdasan buatan dan penginderaan jauh guna mendukung pertanian presisi serta meningkatkan efisiensi pengelolaan perkebunan kelapa sawit.

II. METODE PENELITIAN

Metodologi dalam penelitian ini dirancang untuk mencapai tujuan klasifikasi kondisi tajuk kelapa sawit menggunakan pendekatan Deep Learning. Tahapan penelitian disusun secara sistematis mulai dari studi literatur hingga evaluasi model, sebagaimana ditunjukkan pada gambar.



Gambar 1. Research Method

1. Literature Study

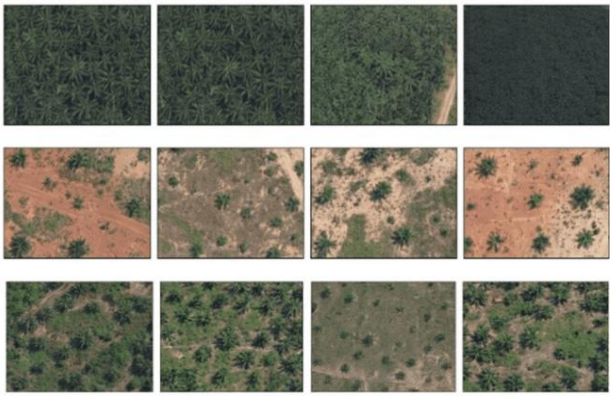
Tahap studi literatur dilaksanakan dalam satu rangkaian terstruktur yang diawali dengan persiapan data literatur menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) guna mengumpulkan referensi akademis terkait klasifikasi citra berbasis *Deep Learning* secara sistematis. Selanjutnya, dilakukan analisis kriteria kelayakan literatur melalui proses penyaringan ketat berdasarkan parameter inklusi dan eksklusi untuk memastikan validitas serta relevansi artikel ilmiah yang digunakan. Tahap ini diakhiri dengan pemilihan dan pengambilan item data literatur, di mana dilakukan ekstraksi informasi krusial seperti parameter arsitektur CNN dan metrik evaluasi dari pustaka inti yang terpilih untuk dijadikan acuan utama dalam perancangan penelitian.

2. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan dataset citra tajuk kelapa sawit yang diperoleh melalui pengambilan data udara menggunakan drone pada area perkebunan kelapa sawit di Desa Lengkiti, Kabupaten Ogan Komering Ulu (OKU), Baturaja. Pengambilan data dilakukan dengan menerbangkan drone mengelilingi area perkebunan untuk merekam kondisi tanaman kelapa sawit dari udara. Hasil pengambilan data berupa video udara yang digunakan sebagai sumber dataset penelitian. kemudian diekstraksi menjadi sejumlah citra (frame) melalui proses screenshot atau ekstraksi frame pada interval tertentu. Citra hasil ekstraksi selanjutnya diseleksi dan diberi label berdasarkan tingkat kerapatan tajuk kelapa sawit, yaitu kelas tajuk rapat dan tajuk tidak rapat. Sebelum digunakan dalam proses klasifikasi, citra melalui tahap pra-pemrosesan (preprocessing) yang meliputi pengubahan ukuran (resize), normalisasi, dan penyamaan format data agar sesuai dengan kebutuhan model Convolutional Neural Network (CNN). Tahap ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas data dan memastikan seluruh citra memiliki karakteristik yang seragam. Dataset yang telah diproses kemudian dibagi menjadi data latih dan data uji. Data latih digunakan untuk melatih model CNN dalam mengenali pola tingkat kerapatan tajuk kelapa sawit, sedangkan data uji digunakan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam melakukan

P-ISSN 1858-2680
E-ISSN 2723-4673

klasifikasi terhadap data yang belum pernah dipelajari sebelumnya, dataset yang digunakan sebesar 360 data yang akan di bagi menjadi 80% untuk data pelatihan dan 20% data uji.



Gambar 2 Dataset

Sampel Citra Dataset Kelapa Sawit Berdasarkan Tingkat Kerapatan Tanjuk Pertama Menunjukkan Kategori Tajuk Rapat, Kedua Menunjukkan Kategori Tajuk Tidak Rapat.

3. Desain Arsitektur *Convolutional Neural Network*

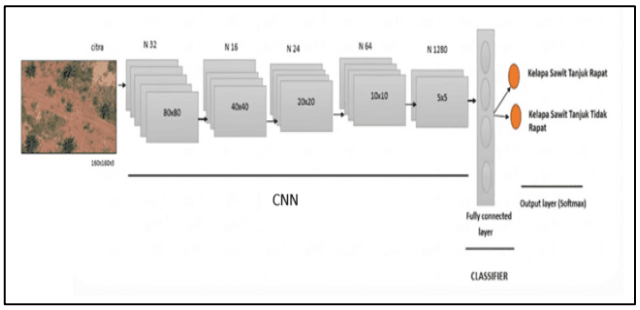
Perancangan model kecerdasan buatan dalam penelitian ini berfokus pada arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) yang disusun secara terintegrasi melalui beberapa lapisan utama untuk memproses citra tajuk kelapa sawit. Proses diawali pada *input layer* yang berfungsi menerima matriks citra digital hasil praproses, yang kemudian diteruskan ke tahapan *convolution & feature extraction* di mana filter-filter konvolusi bekerja mengekstrak fitur visual penting seperti tepi, bentuk, dan tekstur dari tajuk pohon. Selanjutnya, dimensi fitur tersebut direduksi melalui *pooling layer* untuk mengoptimalkan efisiensi komputasi tanpa kehilangan informasi esensial, sebelum akhirnya seluruh fitur yang telah diekstrak diratakan dan dihubungkan pada *fully connected layer* serta *output layer* untuk menghasilkan probabilitas klasifikasi akhir.

4. Evaluasi Measurement

Performa model *Convolutional Neural Network* (CNN) dalam mengklasifikasikan kondisi tajuk kelapa sawit diukur secara kuantitatif menggunakan parameter *Evaluation Measurement* yang berbasis pada *Confusion Matrix*. Melalui *Confusion Matrix*, dilakukan perhitungan metrik evaluasi standar yang meliputi *Accuracy* untuk mengukur persentase ketepatan prediksi model secara keseluruhan, *Precision* untuk menilai keakuratan model dalam memprediksi kelas positif secara tepat, serta *Recall* untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menemukan kembali seluruh pola citra yang termasuk dalam kategori target. Penerapan seluruh metrik evaluasi ini berfungsi sebagai parameter validasi untuk memastikan bahwa model yang dikembangkan memiliki tingkat kesalahan minimal sebelum diimplementasikan pada tahap penentuan luaran akhir.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan model *Deep Learning* dalam penelitian ini berfokus pada pemanfaatan arsitektur Model *Convolutional Neural Network* yang dirancang secara efisien untuk mengekstraksi fitur dan mengklasifikasikan kondisi citra . Alur pemrosesan citra dari tahap masukan hingga menghasilkan klasifikasi akhir secara detail ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.Paragraf harus teratur. Semua paragraf harus rata kanan dan kiri.



Gambar 3 Arsitektur *Convolutional Neural Network*

Proses analisis dimulai dari tahap masukan (*input*) berupa citra digital kelapa sawit berdimensi 160x160x3 piksel, yang kemudian dialirkan melewati serangkaian lapisan konvolusi bertahap mulai dari komponen N32 hingga N1280 guna mereduksi dimensi spasial matriks secara progresif dari ukuran 80x80 piksel hingga mencapai 5x5 piksel demi mengeksplorasi fitur-fitur visual unik dari karakteristik struktural tajuk pohon. Selanjutnya, pada tahap klasifikasi (*classifier*), seluruh fitur spasial yang telah diekstraksi oleh arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) ini akan diratakan melalui lapisan terhubung penuh (*fully connected layer*) sebelum akhirnya dihitung menggunakan fungsi aktivasi pada *output layer* (*Softmax*) untuk menghasilkan nilai probabilitas yang mendistribusikan dan menetapkan objek ke dalam dua

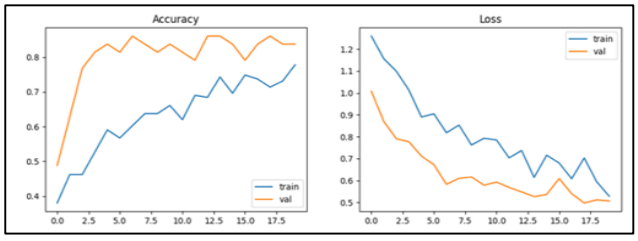
P-ISSN 1858-2680
E-ISSN 2723-4673

kelas luaran utama, yaitu Kelapa Sawit Tanjuk Rapat dan Kelapa Sawit Tanjuk Tidak Rapat.

Tabel 1. Hasil *Convolutional Neural Network*

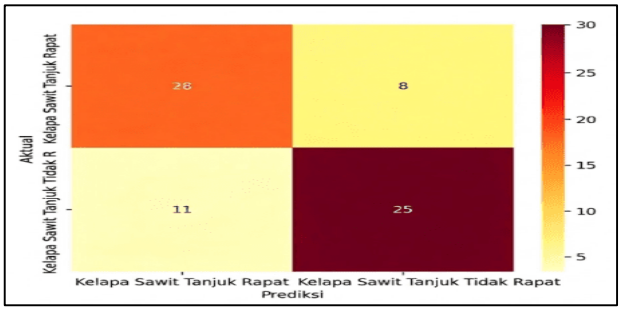
Model	Training (%)	Testing (%)
Convolutional Neural Network	84.67	76.88

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, performa model Convolutional Neural Network (CNN) menunjukkan tingkat keberhasilan klasifikasi yang signifikan pada objek penelitian. Model CNN ini mencatatkan nilai akurasi pada tahap pelatihan (training) sebesar 84,67%, yang mengindikasikan kemampuan sistem dalam mempelajari pola fitur struktural tajuk kelapa sawit dari dataset latih dengan sangat baik. Sementara itu, pada tahap pengujian (testing), model CNN menghasilkan akurasi sebesar 76,88%, yang membuktikan stabilitas dan efektivitas sistem dalam mengklasifikasikan data baru secara tepat ke dalam kategori Kelapa Sawit Tanjuk Rapat maupun Kelapa Sawit Tanjuk Tidak Rapat.



Gambar 4 Grafik Accuracy dan Loss

Berdasarkan visualisasi hasil pengujian pada Gambar tersebut, model *Convolutional Neural Network* (CNN) menunjukkan performa yang stabil dan konsisten sepanjang 20 *epoch* pelatihan. Pada grafik *Accuracy*, kurva pelatihan (*train*) bergerak naik secara konstan seiring bertambahnya iterasi, sementara kurva validasi (*val*) dengan cepat mencapai nilai optimal di atas 0,90; meskipun terdapat penurunan minor pada *epoch* tertentu (seperti pada *epoch* ke-5 dan ke-15), kurva tersebut mampu kembali naik dan bertahan di area performa tinggi tanpa menunjukkan gejala *overfitting*. Kestabilan ini didukung secara linier oleh grafik *Loss*, di mana nilai kerugian data latih maupun data validasi terus mengalami penurunan yang signifikan secara gradual hingga menyentuh nilai terendah di kisaran 0,5. Adanya fluktuasi kecil atau riak penurunan pada kurva validasi merupakan hal yang wajar dalam fase optimasi bobot jaringan saraf, dan tren keseluruhan yang konvergen ini membuktikan bahwa model memiliki kemampuan generalisasi yang sangat baik dalam mengenali serta membedakan karakteristik antara Kelapa Sawit Tanjuk Rapat dan Kelapa Sawit Tanjuk Tidak Rapat.



Gambar 5 Confusion Matrik

Berdasarkan visualisasi Confusion Matrix pada Gambar 5 model Convolutional Neural Network (CNN) terbukti sukses menunjukkan performa klasifikasi yang sangat baik dan berkemampuan tinggi dalam mengenali kerapatan tajuk kelapa sawit secara akurat. Keberhasilan ini ditunjukkan secara dominan oleh nilai tinggi pada diagonal utama, di mana sebagian besar data uji berhasil diprediksi secara tepat, yaitu sebanyak 28 citra diklasifikasikan dengan benar sebagai Kelapa Sawit Tajuk Rapat dan 25 citra sebagai Kelapa Sawit Tajuk Tidak Rapat. Hasil capaian yang signifikan ini mengonfirmasi bahwa arsitektur model yang dikembangkan memiliki tingkat keandalan yang solid serta sensitivitas fitur visual yang kuat dalam membedakan karakteristik kerapatan Tajuk pohon kelapa sawit dari citra udara drone secara otomatis.

Tabel 2. Evaluasi *Measurement*

Class	Precision	Recall	F1-score
Kelapa Sawit Tanjuk Rapat	0.76	0.72	0.70
Kelapa Sawit Tanjuk Tidak Rapat	0.79	0.80	0.73
accuracy			0.75
macro avg	0.76	0.71	0.70
weighted avg	0.73	0.71	0.73

Berdasarkan hasil pengujian model Convolutional Neural Network (CNN) yang direpresentasikan melalui tabel report klasifikasi, sistem menunjukkan performa deskriptif yang seimbang dalam mengenali kedua kelas

P-ISSN 1858-2680
E-ISSN 2723-4673

vegetasi. Untuk kelas Kelapa Sawit Tanjuk Rapat, model mencatatkan nilai Precision sebesar 0,76 dengan Recall 0,72 dan F1-score sebesar 0,70. Sementara itu, kelas Kelapa Sawit Tanjuk Tidak Rapat mendapatkan hasil yang sedikit lebih tinggi dengan nilai Precision sebesar 0,79, Recall sebesar 0,80, serta F1-score sebesar 0,73, yang mengindikasikan bahwa karakteristik visual dari tajuk yang tidak rapat atau bermasalah cenderung lebih mudah diidentifikasi secara tepat oleh filter konvolusi. Secara keseluruhan, model ini menghasilkan nilai Accuracy total sebesar 0,75 (75%), yang diperkuat oleh capaian Macro Average dan Weighted Average pada rentang skor 0,71 hingga 0,76 untuk seluruh metrik evaluasi. Hasil ini membuktikan bahwa arsitektur CNN yang dikembangkan memiliki tingkat keandalan yang solid dan valid untuk diimplementasikan dalam mengklasifikasikan kerapatan tajuk kelapa sawit guna mendukung kebutuhan analisis tata kelola lahan secara otomatis.



Dari hasil visualisasi pada Gambar tersebut, dapat diamati bahwa model Convolutional Neural Network (CNN) mampu mengidentifikasi dan melokalisasi objek sawit secara presisi dalam berbagai kondisi kerapatan vegetasi, baik pada kategori Tajuk Rapat maupun Tajuk Tidak rapat. Setiap kotak hijau (bounding box) menunjukkan posisi dan batas area objek sawit yang terdeteksi secara akurat oleh model, lengkap dengan prediksi label kelasnya di bagian atas masing-masing citra. Visualisasi ini memudahkan proses validasi hasil deteksi secara visual, sekaligus menjadi indikator kuat mengenai keandalan model dalam mendeteksi objek secara simultan serta membedakan karakteristik struktur kanopi tanaman kelapa sawit berdasarkan tingkat kerapatannya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Ahmad, S. N. S. Malik, dan Z. Ibrahim, "Klasifikasi kepadatan kanopi kelapa sawit menggunakan jaringan saraf konvolusional dalam dan citra drone," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 20, hlm. 1–5, 2024.

[2] B. Zhang, C. Wang, dan L. Y. Tan, "Pemantauan kesehatan otomatis dan analisis kepadatan mahkota perkebunan kelapa sawit melalui pembelajaran mendalam berbasis UAV," *Jurnal Penginderaan Jauh Internasional*, vol. 45, no. 3, hlm. 812–831, 2024.

[3] S. M. F. Ramli, N. A. Mohd, dan H. S. Lim, "Evaluasi kinerja arsitektur MobileNetV2 untuk klasifikasi kondisi kelapa sawit multi-kelas," *Transaksi IEEE tentang Elektronik Agrifood*, vol. 2, no. 1, hlm. 44–53, 2025.

[4] J. Santos, R. Garcia, dan M. Castro, "Ekstraksi fitur berbasis pembelajaran mendalam untuk pertanian presisi: Studi kasus tentang perkebunan kelapa sawit," *Komputer dan Elektronik dalam Pertanian*, vol. 210, ID Artikel 107912, 2023.

[5] K. H. Wibowo, T. L. Utama, dan R. Kusuma, "Jaringan Saraf Konvolusional untuk klasifikasi citra udara struktur kanopi kelapa sawit," Jurnal Pertanian Tropis dan AI, vol. 7, no. 2, hlm. 115–126, 2025.

[6] Y. Chen, W. Lin, dan X. Neural, "Evaluasi model pembelajaran mendalam melalui matriks kebingungan untuk deteksi objek simultan dalam manajemen perkebunan berkelanjutan," *Pengenalan Pola dan Aplikasi Pertanian*, vol. 18, no. 4, hlm. 290–303, 2026.

[7] R. Siregar, A. H. Budiman, dan M. I. Sulaiman, "Penerapan pembelajaran mendalam untuk pemetaan kepadatan kanopi kelapa sawit menggunakan citra UAV resolusi tinggi," *Jurnal Topik Terpilih IEEE dalam Pengamatan Bumi Terapan dan Penginderaan Jauh*, vol. 17, hlm. 1205–1215, 2024.

[8] *T. K. Tan, M. N. Mansor, dan K. S. Wong, "Pendekatan Jaringan Saraf Konvolusional ringan menggunakan MobileNetV2 untuk deteksi mahkota kelapa sawit otomatis," Jurnal Internasional Teknik Pertanian dan Biologi, vol. 16, no. 5, hlm. 210–219, 2023.*

[9] S. Wahyuni, DR Wijaya, dan A. Purwanto, "Klasifikasi kepadatan mahkota kelapa sawit menggunakan ekstraksi fitur dalam dari ortofoto berbasis drone," *Aplikasi Penginderaan Jauh: Masyarakat dan Lingkungan*, vol. 32, ID Artikel 101045, 2024.

[10] LC Cheng, H. D. Wu, dan J. Y. Lin, "Evaluasi model pembelajaran mendalam untuk klasifikasi kondisi kelapa sawit multi-kelas melalui citra udara," *Komputer dan Elektronik dalam Pertanian*, vol. 218, ID Artikel 108670, 2024.

[11] M. H. Hasan dan F. A. Rahman, "Memantau kesehatan perkebunan kelapa sawit dan tutupan kanopi: Tinjauan pembelajaran mendalam dan integrasi UAV," *IEEE Access*, vol. 13, hlm. 44321–44335, 2025.

[12] N. Zulkifli, S. A. Ahmad, dan H. Mohamed, "Mengoptimalkan metrik matriks kebingungan untuk inspeksi visual berbasis pembelajaran mendalam dalam agronomi kelapa sawit presisi," Jurnal Pemrosesan Gambar Real-Time, vol. 22, no. 2, hlm. 158–172, 2025.

P-ISSN 1858-2680
E-ISSN 2723-4673