
BIOFARM
Jurnal Ilmiah Pertanian
ISSN Print: 0216-5430; ISSN Online: 2301-6442
Vol. 22, No. 2, Oktober 2026

Dinamika Komunitas Serangga pada Agroekosistem Kopi dalam Pemodelan Berbasis Kecerdasan Buatan: Tren Global dan Arah Riset Terkini

Dynamics of Insect Communities in Coffee Agroecosystems via Artificial Intelligence-Based Modeling: Global Trends and Current Research Directions

Priyambodo Priyambodo[1], Elly Lestari Rustiati[1], M. Iqbal Parabi[2], Nindy Permatasari*[3], Siti Hamidatul 'Aliyah[4]
[1]Jurusan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Lampung
[2]Jurusan Ilmu Komputer, Fakultas MIPA, Universitas Lampung
[3]Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan, Politeknik Negeri Lampung
[4]Pusat Riset Biomedis, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
*Korespondensi Penulis: nindypermatasari@polinela.ac.id

ABSTRAK
Penelitian ini bertujuan untuk memetakan tren global, peta kolaborasi, dan arah penelitian terkini terkait penerapan kecerdasan buatan dalam memodelkan dinamika komunitas serangga pada agroekosistem kopi. Data diperoleh dari basis data Scopus menggunakan pendekatan bibliometrik dengan analisis deskriptif dan visualisasi jejaring menggunakan VOSviewer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa publikasi di bidang ini meningkat pesat sejak tahun 2017, dengan dominasi riset yang berfokus pada penerapan *deep learning, machine learning*, dan *convolutional neural network* untuk identifikasi, klasifikasi, dan prediksi perilaku serangga. Brasil dan India merupakan negara paling produktif, diikuti oleh Peru, Kolombia, dan Indonesia. Peta kolaborasi peneliti menunjukkan jejaring yang egaliter dan lintas disiplin, sedangkan analisis kata kunci menampilkan lima klaster tematik utama yang berkaitan dengan pertanian presisi, penginderaan jauh, dan manajemen hama adaptif. Hasil ini menunjukkan bahwa riset kecerdasan buatam pada ekosistem kopi tengah bergerak menuju integrasi data ekologis dan teknologi digital untuk membangun sistem pertanian yang berkelanjutan dan tangguh terhadap perubahan iklim.

Kata kunci**:** agroekosistem kopi, bibliometrik, *deep learning*, kecerdasan buatan, komunitas serangga.

ABSTRACT
This study aimed to map global trends, collaboration networks, and current research directions regarding the application of Artificial Intelligence (AI) in modelling insect community dynamics within coffee agroecosystems. Data were extracted from the Scopus database using a bibliometric approach, combined with descriptive analysis and network visualization via VOSviewer. The results showed a significant increase in publications since 2017, dominated by studies that employed deep learning, machine learning, and convolutional neural networks for insect identification, classification, and behavioral prediction. Brazil and India emerged as the most productive countries, followed by Peru, Colombia, and Indonesia. Co-authorship mapping revealed egalitarian and multidisciplinary collaboration patterns, while keyword co-occurrence analysis identified five major thematic clusters focusing on precision agriculture, remote sensing, and adaptive pest management. Overall, this research highlighted a growing integration of ecological data and digital technologies, indicating a transition toward intelligent, sustainable, and climate-resilient coffee farming systems.

Keywords: artificial intelligence, deep learning, insect community, coffee agroecosystem, bibliometric analysis.

PENDAHULUAN

Agroekosistem merupakan sistem ekologi artifisial atau alami termodifikasi yang dibuat sebagai sistem kompleks secara biologi dengan aplikasi kaidah ekologis yang tinggi (Kusuma & Ifadah, 2023). Salah satu agroekosistem yang populer di Indonesia adalah praktik agroekosistem kopi yang mempunyai telh

memberikan nilai ekonomi dan sosial yang besar bagi masyarakat (Cure *et al*., 2020; Holle *et al.*, 2025). Di dalam sistem ekologis ini, komunitas serangga memainkan peranan kunci dalam memberikan kestabilan ekologis sehingga peran masing-masing komponen ekologi dapat menjalankan fungsinya dengan baik (Perfecto *et al*., 2014).

Eksistensi serangga penyerbuk dalam sistem ekologis terbut berkontribusi langsung terhadap bagaimana produktivitas dan kualitas biji kopi dapat berada pada level maksimal. Serangga penyerbuk yang sering ditemukan seperti lebah tanpa sengat, lebah telah memberikan pengaruh pada proses polinasi yang makin efisien (Centeno-Alvarado *et al*., 2024). Di sisi lain,serangga juga dapat berperan sebagai hama pada agroekosistem tanaman kopi. Kelompok hama seperti *Hypothenemus hampei* (penggerek buah kopi) atau *Planococcus lilacinus* (kutu putih) dapat memberikan pengaruh pada penurunan hasil panen secara signifikan karena dapat mengganggu keseimbangan ekologi (Dantas *et al*., 2021). Dalam sistem hayati tersebut, kehadiran musuh alami, seperti parasitoid dan predator, dapat menjaga kestabilan populasi hama secara alami. Interaksi yang saling memengaruhi antarspesies dengan ragam peran yang berbeda inilah yang dapat membentuk dinamika komunitas serangga yang kompleks penuh fluktuasi dalam suatu agroekosistem kopi (Shimales *et al*., 2023).

Selain faktor biotik, peran lingkungan sebagai faktor abiotik juga krusial dalam dalam mengatur dinamika komunitas serangga (Fitch *et al*., 2022). Kondisi lingkungan dalam lingkup kecil yang utamanya berupa temperatur dan kelembaban udara mempunyai pengaruh dalam laju metabolisme, aktivitas *foraging*, serta siklus hidup berbagai taksa serangga (Cuartas-Hernández & Gómez-Murillo, 2015). Naungan dan ragam vegetasi juga menjadi faktor yang memengaruhi ketersediaan sumber pakan dan tempat berlindung sehingga berpengaruh pada struktur jaringan trofik pada agroekosistem kopi (Krishidaya dkk., 2022). Di sisi lain, adanya praktik pertanian berupa pengelolaan lahan seperti pemangkasan, pemupukan, dan pengendalian gulma memiliki dampak langsung terhadap keragaman dan kelimpahan serangga, terutama pada kelompok penyerbuk dan musuh alami hama (Ramadhan dkk., 2020; Zuhran dkk., 2021).

Dalam studi ekologi, dinamika komunitas serangga tersebut tidak bersifat statis. Ia sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor biotik dan abiotik, seperti perubahan iklim, intensifikasi penggunaan pestisida, fragmentasi habitat, serta perubahan praktik budidaya kopi (Losey *et al*., 2022). Faktor-faktor tersebut dapat mengubah struktur komunitas serangga, menurunkan keragaman spesies, serta menggeser peran ekologisnya dalam penyediaan jasa ekosistem (Dhidam *et al*., 2020).

Pendekatan konvensional dalam kajian ekologi serangga pada umumnya hanya mengandalkan identifikasi morfologi, observasi lapangan, dan perang analisis statistik untuk menganalisisnya (Raghavendra *et al*., 2022). Meskipun pendekatan tersebut telah mampu memberikan dasar kajian yang kuat, tetapi metode ini sering kali memiliki keterbatasan untuk mengungkap pola interaksi nonlinier antarkomponen ekologi, hubungan sebab-akibat yang kompleks, serta prediksi perubahan populasi dalam sistem ekologi di masa depan (Cerritos, 2009).

Saat ini, kemajuan teknologi digital terjadi sangat pesar dengan ditandai dengan adanya peningkatan kapasitas bidang komputasi yang telah melahirkan era baru dalam analisis ekologis berbasis penerapan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/*AI) (Akinrinola *et al.*, 2024). Kecerdasan buatan yang telah dikembangkan mendorong peneliti untuk melakukan pemrosesan data ekologi berskala besar, baik data berupa citra, sinyal akustik, maupun data genetik. Hal ini penting dalam proses pengenalan pola tersembunyi dan menghasilkan model prediksi yang lebih akurat di masa mendatang (Zhu *et al*., 2024).

Berbagai algoritma yang dihasilkan oleh AI, misalnya *machine learning, deep learning, neural network*, dan *random forest* telah digunakan dalam kepentingan prediktif pada ranah ilmiah (Battineni *et al.*, 2020; Serradilla *et al.,* 2022; Sizochenko *et al.,* 2021; Ma *et al.,* 2021). Algoritma tersebut telah mampu untuk mendeteksi, mengelompokkan, dan membuat prediksi perilaku dan distribusi makhluk hidup dalam sebuah sistem kehidupan.

Meskipun implementasi AI dalam berbagai kajian biologi telah dilakukan, namun peta global atas pengetahuan dan arah perkembangan penelitiannya belum banyak dikaji. Hingga saat ini, kajiannya masih terfragmentasi dalam fokus-fokus tertentu yang belum tergabung dalam jejaring yang sistematis. Kajian yang komprehensif untuk memetakan tren publikasi, kolaborasi ilmiah, serta bidang penelitian yang menjadi pusat perhatian masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan suatu analisis yang actual dan mendalam untuk memahami pemanfaatan AI dalam memodelkan dinamika komunitas serangga, khususnya pada agroekosistem kopi. Selain itu, peta global juga perlu disusun untuk mengetahui bagaimana riset ini mampu berkontribusi terhadap pengembangan kajian ilmu ekologi terapan pada implementasi pertanian berkelanjutan.

Dalam artikel ini, kajian disusun dengan tujuan sebagai penelusuran atas kecenderungan peneliian global, peta kolaborasi, dan arah riset saat ini pada bidang penerapan AI untuk permodelan dinamika komunitas serangga, khususnya pada perkebunan kopi. Hasil analisis selanjutnya dapat memberikan gambaran tentang potensi pengembangan bidang kajian di masa mendatang. Pada akhirnya, diharapkan mampu menjadi jembatan ilmu pengetahuan untuk membuat strategi konservasi serangga penyerbuk dan pengendalian hama terpadu menuju sistem produksi kopi yang lebih tangguh dan berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan dengan pendekatan bibliometrik dari data yang sepenuhnya diekstrak dari *Scopus.* Data diambil dengan menggunakan *query ("artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "neural network" OR "predictive modeling" OR "data-driven") AND ("insect community" OR "insect ecology" OR "pollinator" OR "pest" OR "parasitoid" OR "entomofauna" OR "arthropod diversity") AND ("coffee" OR "Coffea" OR "coffee plantation" OR "coffee agroecosystem" OR "agroforestry coffee" OR "shade coffee")).* Data diambil pada seluruh rentang waktu yang dimiliki oleh *Scopus* dengan pembayasan pada jenis dokumen *article* dan *review*, dan bahasa dokumen hanya yang menggunakan Bahasa Inggris.

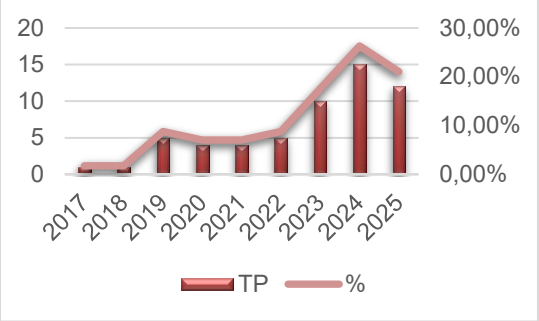
Analisis secara deskriptif dilakukan secara manual dengan bantuan *Microsoft Excel* untuk melihat tren publikasi dan data-data dominan seperti negara paling banyak menghasilkan publikasi, kata kunci yang paling banyak digunakan, serta nama penulis dan jurnal yang paling produktif. Data deskriptif disajikan dalam tabel, gambar, atau grafik yang sesuai.

Analisis jejaring dilakukan dengan bantuan perangkat lunak VOSViewer untuk memvisualisasikan jejaring peneliti dan pola *co-occurrence.* Hasil analisis ini dapat memberikan temuan pola penelitian dan prediksi arah penelitian di masa mendatang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tren Publikasi Global

Perkembangan riset mengenai dinamika komunitas serangga pada agroekosistem kopi berbasis kecerdasan buatan menunjukkan tren peningkatan yang signifikan dalam delapan tahun terakhir. Sebelumnya 2017, penelitian ini belum ada, disebabkan karena terbatasnya perkembangan AI (Mazumder dkk., 2023). Sejak 2017, jumlah publikasi di bidang ini mengalami pertumbuhan pesat, menandakan meningkatnya perhatian ilmiah terhadap penerapan teknologi cerdas dalam memahami peran ekologi serangga penyerbuk maupun hama pada sistem produksi kopi. Gambar 1 berikut memperlihatkan dinamika jumlah publikasi (*Total Publications/TP*) dan persentase pertumbuhannya (%) dari tahun 2017 hingga 2025.



Gambar 1. Tren Publikasi Global.

Pada periode awal (2017–2020), jumlah publikasi masih relatif rendah dengan rata-rata di bawah lima artikel per tahun,

mencerminkan fase awal adopsi pendekatan berbasis AI dalam penelitian entomologi pertanian. Kenaikan mulai tampak pada tahun 2019, seiring meningkatnya penggunaan *machine learning* dan *computer vision* dalam identifikasi serangga lapangan (Hartbauer, 2024). Meskipun mengalami stagnasi antara 2020–2021, hal ini sangat dimungkinkan pada fokus riset yang lebih mengarah pada pandemi COVID-19 kala itu (Ahmad dkk., 2021).

Lonjakan tajam terjadi sejak 2022 hingga mencapai puncaknya pada tahun 2024 dengan total publikasi lebih dari 14 artikel dan persentase pertumbuhan sekitar 27%. Fenomena ini sejalan dengan meningkatnya akses terhadap data citra lapangan, kemajuan *deep learning*, serta meningkatnya kesadaran global terhadap pentingnya layanan ekosistem penyerbukan dalam keberlanjutan produksi kopi (Menghani, 2023). Meskipun tahun 2025 menunjukkan sedikit penurunan, tingkat publikasi tetap tinggi, mengindikasikan stabilisasi minat riset di bidang ini. Hal ini disebabkan juga karena tahun 2025 belum berjalan secara penuh, sehingga angka ini sangat dimungkinkan untuk bertumbuh, bahkan berlipat ganda. Hal ini disebabkan karena banyak publikasi yang berpotensi terbit pada akhir tahun (Fontelo dkk., 2018)

Secara keseluruhan, pola tersebut menggambarkan transisi dari tahap eksplorasi menuju fase penerapan luas, di mana penelitian mulai berfokus pada integrasi data multi-sumber (genetik, ekologi, dan spasial) untuk mendukung model prediksi populasi serangga penyerbuk dan pengendalian hayati yang lebih presisi dan berkesinambungan.

Negara Paling Produktif

Distribusi publikasi berdasarkan negara menunjukkan konsentrasi yang kuat pada negara di kawasan tropis, meskipun beberapa negara tersebut bukan merupakan lima produsen kopi terbesar di dunia (Tabel 1). Data tersebut menggambarkan kontribusi relatif masing-masing negara dalam penelitian bertema *dinamika komunitas serangga pada agroekosistem kopi berbasis kecerdasan buatan*, dengan indikator jumlah publikasi dan persentasenya terhadap total publikasi yang dihasilkan seluruh negara pada rentang seluruh rentang waktu pada *database* Scopus.

Tabel 1. Negara Paling Produktif

Negara	TP	%
Brazil	17	29,82
India	12	21,05
Peru	7	12,28
Kolombia	6	10,53
Italia	6	10,53
Indonesia	5	8,77
Spanyol	3	5,26

Brasil menempati posisi teratas dengan 17 publikasi atau sekitar 29,82% dari total penelitian global. Dominasi ini mencerminkan peran Brasil sebagai negara penghasil kopi terbesar sekaligus pusat penelitian agroekosistem tropis yang aktif menerapkan pendekatan berbasis AI dalam pemantauan polinator dan hama kopi. India menyusul dengan kontribusi 21,05%, memperlihatkan kemajuan signifikan dalam riset lintas disiplin yang memadukan *machine learning* dengan studi ekologi pertanian. Negara-negara di Amerika Latin seperti Peru (12,28%) dan Kolombia (10,53%) juga menunjukkan aktivitas riset yang menonjol, sejalan dengan upaya konservasi biodiversitas serangga penyerbuk di lahan kopi dataran tinggi Andes.

Sementara itu, kontribusi dari negara-negara di luar Amerika Latin, seperti Italia (10,53%), Indonesia (8,77%), dan Spanyol (5,26%), menandakan adanya ekspansi kolaborasi internasional di bidang ini. Italia dan Spanyol cenderung fokus pada pengembangan algoritme deteksi serta pemodelan spasial berbasis citra, sedangkan Indonesia menonjol pada aspek aplikasi lapangan dan integrasi data lokal, terutama dalam konteks pengelolaan keberlanjutan produksi kopi tropis.

Kata Kunci yang Paling Sering Digunakan

Analisis kata kunci memberikan gambaran mengenai fokus tematik dan arah metodologis penelitian. Data menunjukkan bahwa tren publikasi terkonsentrasi pada penerapan teknik *deep learning*, *machine learning*, serta *convolutional neural network* (CNN) dalam konteks pertanian presisi dan pengelolaan tanaman kopi (Tabel 2). Dominasi istilah-istilah tersebut menandakan bahwa pendekatan berbasis AI telah menjadi fondasi utama dalam studi identifikasi,

klasifikasi, dan prediksi perilaku serangga serta kondisi tanaman kopi.

Tabel 2. Kata Kunci Paling Populer

Keywords	TP	%
Deep Learning	18	31,58
Coffee	15	26,32
Convolutional Neural Network	13	22,81
Machine Learning	13	22,81
Artificial Intelligence	12	21,05
Convolutional Neural Networks	11	19,30
Crops	11	19,30
Agriculture	8	14,04
Image Processing	8	14,04
Plants (botany)	8	14,04
Coffee Plants	7	12,28
Learning Systems	7	12,28
Precision Agriculture	7	12,28

Kata kunci "*Deep Learning*" menempati posisi tertinggi dengan 31,58% publikasi, diikuti oleh "*Coffee*" (26,32%) dan "*Convolutional Neural Network*" (22,81%). Temuan ini menunjukkan bahwa penelitian terkini lebih menitikberatkan pada pengembangan model pengenalan pola dan analisis citra otomatis untuk mendeteksi polinator maupun hama pada tanaman kopi. Selain itu, kemunculan berulang kata "*Artificial Intelligence*" (21,05%) dan "*Machine Learning*" (22,81%) mengindikasikan keterkaitan erat antara pengembangan model cerdas dengan kebutuhan interpretasi ekologi, sehingga memungkinkan pemodelan populasi serangga yang lebih akurat dan adaptif terhadap dinamika lingkungan.

Kata kunci lain seperti "*Crops*", "*Agriculture*", "*Precision Agriculture*", dan "*Image Processing*" menegaskan arah riset menuju pertanian presisi yang berbasis data dan otomatisasi. Fokus terhadap "*Plants (botany)*" dan "*Coffee Plants*" mencerminkan konteks ekologis yang spesifik, yaitu sistem perkebunan kopi yang menjadi habitat penting bagi komunitas serangga penyerbuk. Kehadiran istilah "*Learning Systems*" (12,28%) menunjukkan bahwa selain pengembangan algoritme, riset juga mencakup aspek sistem pembelajaran adaptif yang mampu memperbarui model berdasarkan data baru.

Penulis Paling Produktif

Analisis produktivitas penulis memberikan gambaran mengenai kontribusi individu terhadap pengembangan riset bertema ini. Data menunjukkan adanya distribusi publikasi yang relatif merata di antara para penulis, tanpa adanya dominasi signifikan dari satu peneliti tertentu (Tabel 3).

Tabel 3. Penulis Paling Produktif

Author Name	TP	%
Krohling, R.A.	4	7,02
Bambi, G.	3	5,26
Conti, L.	3	5,26
Marin, D.B.	3	5,26
Rossi, G.	3	5,26
Souza, J.R.	3	5,26
Tassis, L.M.	3	5,26
Venzon, M.	3	5,26
Vilela, E.F.	3	5,26
Alvarez, A.B.	2	3,51
Assis, G.A.	2	3,51

Penulis dengan publikasi tertinggi adalah Krohling, R.A. dengan empat artikel (7,02%), diikuti oleh sejumlah penulis lain seperti Bambi, G., Conti, L., Marin, D.B., Rossi, G., Souza, J.R., Tassis, L.M., Venzon, M., dan Vilela, E.F. yang masing-masing memiliki tiga publikasi (5,26%). Pola ini menunjukkan bahwa kontribusi riset tersebar secara seimbang, tanpa adanya satu tokoh yang mendominasi arah penelitian secara global. Dalam konteks bibliometrik, distribusi seperti ini sering menandakan fase perkembangan bidang ilmu yang masih terbuka, di mana berbagai kelompok riset sedang membangun fondasi konseptual dan metodologis masing-masing secara paralel. Ketiadaan peneliti yang superior juga mencerminkan tingginya tingkat kolaborasi dan sifat lintas disiplin dalam penelitian ini.

Jurnal Paling Produktif

Analisis Analisis terhadap sumber publikasi atau *source title* memberikan gambaran penting mengenai kanal utama penyebaran pengetahuan dalam bidang riset ini. Data menunjukkan bahwa publikasi tersebar di berbagai jurnal dan prosiding bereputasi internasional, yang sebagian besar berfokus pada aplikasi kecerdasan buatan, pertanian presisi, dan keberlanjutan lingkungan (Tabel 4). Hal ini menegaskan bahwa topik penelitian ini tidak hanya bersifat

biologis, tetapi juga sangat terintegrasi dengan sains komputasi dan teknologi digital.

Tabel 4. Jurnal yang Paling Produktif

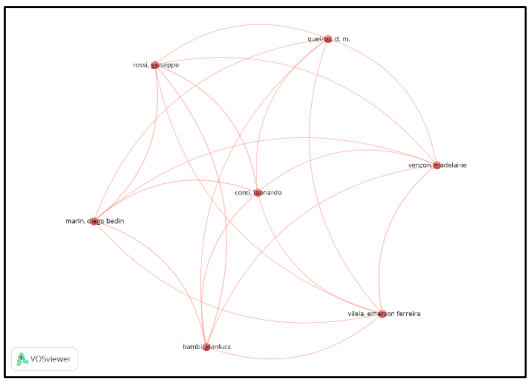
Source Title	TP	%
Advances in Intelligent Systems and Computing	3	5,26
Applied Sciences Switzerland	3	5,26
Agriculture Switzerland	2	3,51
Agriengineering	2	3,51
Computers and Electronics in Agriculture	2	3,51
Information Processing in Agriculture	2	3,51
IOP Conference Series Earth and Environmental Science	2	3,51
Lecture Notes in Computer Science	2	3,51
Sustainability Switzerland	2	3,51

Sumber dengan produktivitas tertinggi adalah *Advances in Intelligent Systems and Computing* serta *Applied Sciences Switzerland*, masing-masing dengan tiga artikel (5,26%). Kedua jurnal ini dikenal sebagai wadah publikasi lintas disiplin yang menekankan penerapan algoritma cerdas dalam berbagai konteks, termasuk pertanian berkelanjutan. Sementara itu, beberapa jurnal lain seperti *Agriculture Switzerland*, *Agriengineering*, dan *Computers and Electronics in Agriculture* masing-masing berkontribusi dua artikel (3,51%), menunjukkan fokus yang kuat pada inovasi teknologi untuk peningkatan efisiensi sistem pertanian dan ekosistem penyerbukan.

Distribusi publikasi yang merata di berbagai jurnal menandakan bahwa bidang ini masih berkembang secara luas dan belum terpusat pada satu kanal publikasi tertentu. Keterlibatan jurnal seperti *Information Processing in Agriculture* dan *Lecture Notes in Computer Science* menunjukkan bahwa penelitian di bidang ini tengah menjembatani ekologi dengan ilmu komputer terapan, khususnya dalam konteks pemrosesan data pertanian berbasis AI. Sementara itu, munculnya *Sustainability Switzerland* sebagai salah satu sumber publikasi utama menegaskan arah penelitian yang berorientasi pada praktik agroekologi yang berkelanjutan.

Pola *Co-Authorship*

Visualisasi jejaring kolaborasi penulis yang dihasilkan melalui VOSviewer memberikan gambaran hubungan *co-author* yang terbentuk dalam bidang penelitian terkait penerapan kecerdasan buatan pada sistem pertanian dan ekologi serangga. Peta ini memperlihatkan konektivitas antarpeneliti yang bekerja dalam klaster yang relatif terintegrasi, dengan garis-garis penghubung yang menunjukkan adanya kolaborasi aktif dalam publikasi bersama (Gambar 1).



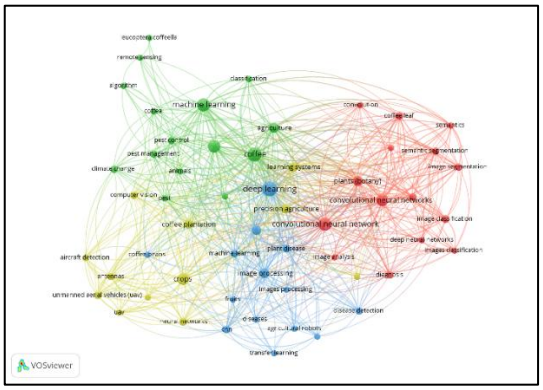
Gambar 1. Visualisasi Pola *Co-Authorship.*

Jaringan kolaborasi menampilkan *Conti, Leonardo*, *Marin, Diego Bedin*, *Rossi, Giuseppe*, *Bambi, Gianluca*, *Vilela, Emerson Ferreira*, dan *Venzon, Madelaine* yang saling terhubung melalui publikasi bersama. Struktur ini mengindikasikan adanya kelompok penelitian yang produktif dan saling mendukung dalam mengembangkan kajian interdisipliner antara teknologi cerdas dan agroekosistem. Meski beberapa penulis tampak memiliki lebih banyak koneksi, seperti *Conti* dan *Marin*, tidak ditemukan pusat dominasi yang menonjol yang menunjukkan kolaborasi yang bersifat egaliter, di mana kontribusi pengetahuan dibangun secara kolektif.

Ketiadaan simpul tunggal yang sangat menonjol dalam jaringan ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa tidak ada satu peneliti yang mendominasi produksi publikasi di bidang ini. Pola ini mencerminkan dinamika riset modern yang semakin kolaboratif dan berbasis jejaring multidisiplin, bukan berpusat pada individu tertentu. Dengan demikian, jejaring ini menunjukkan karakter penelitian yang terbuka.

Pola *Co-Occurrence*

Visualisasi jejaring kata kunci ini menggambarkan lanskap konseptual penelitian yang menghubungkan bidang ini. Ukuran dan ketebalan garis mencerminkan intensitas hubungan antaristilah, sementara perbedaan warna menunjukkan klaster tematik yang berbeda. Secara umum, peta ini menampilkan lima klaster utama yang berpusat pada topik *deep learning*, *machine learning*, *convolutional neural network*, *agriculture and crops*, serta *precision agriculture and image processing*, yang secara kolektif menunjukkan arah perkembangan multidisipliner riset di bidang ini (Gambar 2).



Gambar 2. Visualisasi Pola *Co-Occurrence.*

Klaster Biru: *Deep Learning* dan *Precision Agriculture*

Klaster berwarna biru menampilkan fokus pada penerapan *deep learning* dan *precision agriculture* yang berperan besar dalam meningkatkan efisiensi sistem pertanian kopi. Kata kunci seperti *image processing*, *disease detection*, dan *agricultural robots* memperlihatkan bahwa penelitian dalam klaster ini berorientasi pada pengembangan model otomatis untuk diagnosis penyakit tanaman serta analisis visual berbasis citra. Pendekatan ini menjadi kunci dalam membangun sistem pertanian cerdas yang dapat mendeteksi stres tanaman atau penyakit sejak dini. Dominasi istilah *deep learning* juga menegaskan bahwa algoritme tersebut dalam menjadi tulang punggung dari inovasi teknologi pada bidang ini.

Klaster Merah: *Convolutional Neural Network* dan *Image Segmentation*

Klaster merah menunjukkan tema penelitian yang berpusat pada CNN dan aplikasinya dalam segmentasi serta klasifikasi citra tanaman kopi. Kata kunci seperti *semantic segmentation*, *image classification*, dan *diagnosis* menunjukkan arah penelitian yang kuat dalam pengolahan citra daun kopi untuk mengidentifikasi hama, penyakit, maupun kondisi fisiologis tanaman. Klaster ini berperan penting dalam mendukung otomatisasi identifikasi objek di lapangan dengan tingkat akurasi tinggi. Selain itu, keterhubungan yang padat dengan klaster biru mengindikasikan bahwa pendekatan CNN banyak digunakan sebagai basis dalam sistem pertanian presisi yang lebih kompleks.

Klaster Hijau: *Machine Learning, Pest Management*, dan *Climate Change*

Klaster hijau memperlihatkan fokus yang lebih luas pada penerapan *machine learning* dalam konteks ekologis dan manajemen pertanian. Istilah seperti *pest control*, *pest management*, *climate change*, dan *remote sensing* mengindikasikan adanya arah riset yang memadukan kecerdasan buatan dengan data spasial dan lingkungan untuk memprediksi dinamika populasi hama serta dampak perubahan iklim terhadap produktivitas tanaman kopi.

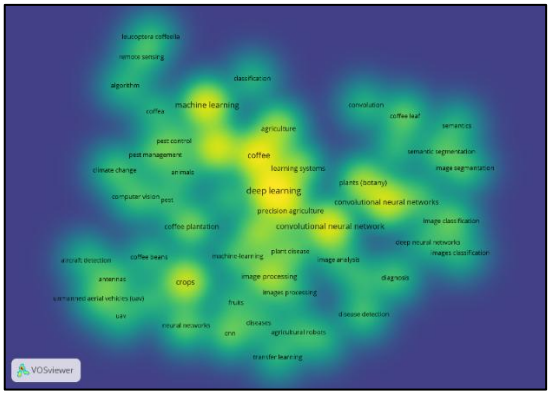
Klaster Kuning: *Crops, UAV*, dan *Coffee Beans*

Klaster berwarna kuning berkaitan erat dengan penggunaan teknologi penginderaan jauh dan sistem tanpa awak dalam pertanian kopi. Kata kunci seperti *crops*, *unmanned aerial vehicles (UAV)*, *aircraft detection*, dan *coffee beans* menegaskan bahwa riset pada klaster ini menitikberatkan pada akuisisi data melalui *drone* dan sensor untuk memantau pertumbuhan tanaman serta kualitas hasil panen. Integrasi UAV dengan sistem

computer vision memungkinkan pemantauan lahan secara real-time dan berbiaya rendah. Hubungan klaster ini dengan klaster biru dan hijau memperkuat posisi teknologi UAV sebagai jembatan antara pengamatan lapangan dan analisis berbasis *machine learning*.

Visualisasi *Density Co-Occurence*

Visualisasi jejaring kata kunci hasil ini memperlihatkan lanskap tematik dengan warna dan intensitas cahaya yang menggambarkan tingkat keterhubungan antaristilah, sedangkan kata dengan ukuran lebih besar menandakan frekuensi kemunculan yang tinggi (Gambar 3). Secara umum, istilah seperti *coffee*, *machine learning*, *deep learning*, *convolutional neural network*, dan *precision agriculture* membentuk simpul pusat, menunjukkan bahwa penelitian pada bidang ini telah beralih dari sekadar eksplorasi konsep menuju tahap penerapan teknologi cerdas yang lebih konkret dalam sistem produksi dan konservasi pertanian kopi.



Gambar 3. Visualisasi *Density Co-Occurrence.*

Peta jejaring ini menegaskan bahwa *machine learning* dan *deep learning* merupakan fondasi utama dalam penelitian yang berhubungan dengan pertanian kopi. Istilah seperti *image processing*, *disease detection*, *coffee leaf*, dan *convolutional neural network* menunjukkan bahwa mayoritas penelitian berfokus pada diagnosis penyakit tanaman, pengenalan pola visual, serta otomasi klasifikasi daun atau buah kopi. Selain itu, keterhubungan antara *machine learning*, *pest management*, dan *climate change* memperlihatkan integrasi pendekatan ekologis dan teknologi untuk memahami dampak perubahan iklim terhadap dinamika hama dan produktivitas tanaman. Hal ini menandakan bahwa penelitian telah berkembang ke arah sistem prediktif dan adaptif dalam pengelolaan agroekosistem kopi.

Keterhubungan kuat antara *deep learning*, *precision agriculture*, dan *UAV* menunjukkan bahwa riset terkini menitikberatkan pada pengembangan sistem pertanian cerdas berbasis citra dan penginderaan jauh. Teknologi UAV memungkinkan akuisisi data visual berskala besar yang kemudian diolah dengan algoritme pembelajaran mendalam untuk memantau kondisi tanaman secara *real time*.

Melihat pola keterhubungan antaristilah, dapat diprediksi bahwa arah riset di masa depan akan bergerak ke arah integrasi lintas disiplin antara *AI*, ekologi, dan genomik tanaman. Penggunaan model pembelajaran multimodal yang menggabungkan data visual, genetik, dan lingkungan kemungkinan besar akan menjadi fokus utama untuk meningkatkan akurasi prediksi produktivitas dan ketahanan tanaman terhadap stres biotik maupun abiotik. Selain itu, pendekatan *explainable AI* berpotensi dikembangkan untuk menjembatani interpretasi biologis dari model kecerdasan buatan yang kompleks. Dengan demikian, lanskap penelitian ini diperkirakan akan semakin berorientasi pada pembangunan sistem agroekologi kopi yang cerdas, berkelanjutan, dan adaptif terhadap perubahan iklim global.

SIMPULAN

Penelitian menunjukkan bahwa penerapan kecerdasan buatan dalam studi dinamika komunitas serangga pada agroekosistem kopi telah mengalami pertumbuhan pesat dan mulai bergeser dari tahap eksplorasi menuju penerapan luas. Metode AI, khususnya melalui pendekatan *deep learning* dan *machine learning*, menjadi alat penting dalam mendeteksi, memprediksi, dan mengelola populasi serangga penyerbuk maupun hama.

Riset ini memperlihatkan sinergi antara bidang ekologi, pertanian, dan ilmu komputer, dengan potensi besar dalam membangun sistem pertanian kopi yang presisi, berkelanjutan, dan adaptif terhadap perubahan iklim global. Di masa depan,

integrasi data multimodal (visual, genetik, dan lingkungan) dan penggunaan model *explainable AI* akan menjadi arah utama dalam memahami hubungan kompleks antara komponen biotik dan abiotik pada ekosistem kopi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Lampung atas fasilitasi pendanaan penelitian yang telah diberikan melalui Hibah Penelitian Skema Penelitan Dasar dari Dana Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Badan Layanan Umum (BLU) Universitas Lampung dengan Nomor Kontrak Pelaksanaan Kegiatan 2035/UN26.21/PN/2025 tanggal 16 Juli 2025.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, T., Murad, M. A., Baig, M., & Hui, J. (2021). Research trends in COVID-19 vaccine: a bibliometric analysis. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, *17*(8), 2367-2372.

Akinrinola, O., Okoye, C. C., Ofodile, O. C., & Ugochukwu, C. E. (2024). Navigating and reviewing ethical dilemmas in AI development: Strategies for transparency, fairness, and accountability. *GSC Advanced Research and Reviews*, *18*(3), 050-058.

Battineni, G., Sagaro, G. G., Chinatalapudi, N., & Amenta, F. (2020). Applications of machine learning predictive models in the chronic disease diagnosis. *Journal of personalized medicine*, *10*(2), 21.

Centeno-Alvarado, D., Lopes, A. V., & Arnan, X. (2024). Shaping pollinator diversity through coffee agroforestry management: A meta-analytical approach. *Insect Conservation and Diversity*, *17*(5), 729-742.

Cerritos, R. (2009). Insects as food: an ecological, social and economical approach. *CABI Reviews*, (2009), 1-10.

Cuartas-Hernández, S. E., & Gómez-Murillo, L. (2015). Effect of biotic and abiotic factors on diversity patterns of anthophyllous insect communities in a tropical mountain forest. *Neotropical entomology*, *44*(3), 214-223.

Cure, J. R., Rodríguez, D., Gutierrez, A. P., & Ponti, L. (2020). The coffee agroecosystem: bio-economic analysis of coffee berry borer control (Hypothenemus hampei). *Scientific reports*, *10*(1), 12262.

Dantas, J., Motta, I. O., Vidal, L. A., Nascimento, E. F., Bilio, J., Pupe, J. M., ... & Albuquerque, É. V. (2021). A comprehensive review of the coffee leaf miner Leucoptera coffeella (Lepidoptera: Lyonetiidae)—A major pest for the coffee crop in Brazil and others neotropical countries. *Insects*, *12*(12), 1130.

Didham, R. K., Barbero, F., Collins, C. M., Forister, M. L., Hassall, C., Leather, S. R., ... & Stewart, A. J. (2020). Spotlight on insects: trends, threats and conservation challenges. *Insect Conservation and Diversity*, *13*(2), 99-102.

Fitch, G., Gonzalez, J., Oana, A. M., Oliver, M., & Vandermeer, J. (2022). Integrating effects of neighbor interactions for pollination and abiotic resources on coffee yield in a multi-strata agroforest. *Biotropica*, *54*(5), 1226-1237.

Fontelo, P., & Liu, F. (2018). A review of recent publication trends from top publishing countries. *Systematic reviews*, *7*(1), 147.

Hartbauer, M. (2024). Artificial neuronal networks are revolutionizing entomological research. *Journal of Applied Entomology*, *148*(2), 232-251.

Holle, M. J. M., Apriyani, V., & Mumbunan, S. (2025). Systematic evidence map of coffee agroecosystem management and biodiversity linkages in producing countries. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, *11*, 100147.

Krishidaya, A., Hakim, L., & Hayati, A. (2022). Etnobotani Tumbuhan Liar di Bawah Naungan Tegakan Kopi (Coffea sp.) pada Perkebunan Kopi di Dusun

Krajan, Desa Jambuwer, Kecamatan Kromengan, Kabupaten Malang. *SCISCITATIO: Journal for Biological Science*, *3*(1), 16-26.

Kusuma, Z., & Ifadah, N. F. (2023). *Agroekosistem Kebun Kopi*. Universitas Brawijaya Press.

Losey, J. E., Chen, C., Davis, A. E., Deitsch, J. F., Gertin, J. G., Gorneau, J. A., ... & Curtis, P. D. (2022). Insects and spiders on the web: Monitoring and mitigating online exploitation of species and services. *Global Ecology and Conservation*, *36*, e02098.

Ma, J., Yin, H., Hao, X., Sha, W., & Cui, H. (2021). Development of a random forest model to classify sarcoidosis and tuberculosis. *American Journal of Translational Research*, *13*(6), 6166.

Mazumder, M., Banbury, C., Yao, X., Karlaš, B., Gaviria Rojas, W., Diamos, S., ... & Janapa Reddi, V. (2023). Dataperf: Benchmarks for data-centric ai development. *Advances in Neural Information Processing Systems*, *36*, 5320-5347.

Menghani, G. (2023). Efficient deep learning: A survey on making deep learning models smaller, faster, and better. *ACM Computing Surveys*, *55*(12), 1-37.

Perfecto, I., Vandermeer, J., & Philpott, S. M. (2014). Complex ecological interactions in the coffee agroecosystem. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *45*(1), 137-158.

Raghavendra, K. V., Bhoopathi, T., Gowthami, R., Keerthi, M. C., Suroshe, S. S., Ramesh, K. B., ... & Chander, S. (2022). Insects: biodiversity, threat status and conservation approaches. *Current Science*, *122*(12), 1374-1384.

Ramadhan, R. A. M., Mirantika, D., & Septria, D. (2020). Keragaman serangga nokturnal dan peranannya terhadap agroekosistem di Kota Tasikmalaya. *AGROSCRIPT: Journal of Applied Agricultural Sciences*, *2*(2), 114-125.

Serradilla, O., Zugasti, E., Rodriguez, J., & Zurutuza, U. (2022). Deep learning models for predictive maintenance: a survey, comparison, challenges and prospects. *Applied Intelligence*, *52*(10), 10934-10964.

Shimales, T., Mendesil, E., Zewdie, B., Ayalew, B., Hylander, K., & Tack, A. J. (2023). Management intensity affects insect pests and natural pest control on Arabica coffee in its native range. *Journal of Applied Ecology*, *60*(5), 911-922.

Sizochenko, N., Mikolajczyk, A., Syzochenko, M., Puzyn, T., & Leszczynski, J. (2021). Zeta potentials (ζ) of metal oxide nanoparticles: A meta-analysis of experimental data and a predictive neural networks modeling. *NanoImpact*, *22*, 100317.

Zhu, W., Han, R., Shang, X., Zhou, T., Liang, C., Qin, X., ... & Li, L. (2024). The CropGPT project: Call for a global, coordinated effort in precision design breeding driven by AI using biological big data. *Molecular Plant*, *17*(2), 215-218.

Zuhran, M., Mudjiono, G., & Puspitarini, R. D. (2021). Pengaruh pengelolaan agroekosistem terhadap kelimpahan kutu loncat jeruk Diaphorina citri Kuwayama (Hemiptera: Liviidae). *Jurnal Entomologi Indonesia*, *18*(2), 102-102.