

Linking Artificial Intelligence and Insect Genetics for Coffee Plantation Research: A Bibliometric Perspective

Priyambodo¹, M. Iqbal Parabi^{2*}, Elly Lestari Rustiati¹, Nindy Permatasari³, Syarif Hidayat Amrullah⁴, Siti Hamidatul 'Aliyah⁵

¹Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia;

²Jurusan Ilmu Komputer, FMIPA, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia;

³Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan, Politeknik Negeri Lampung, Bandar Lampung, Indonesia;

⁴Jurusan Biologi, FST, Universitas Islam Negeri Alauddin, Makassar, Indonesia;

⁵Pusat Riset Biomedis, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Cibinong, Indonesia.

Article History

Received : July 16th, 2025

Revised : August 17th, 2025

Accepted : September 25th, 2025

*Corresponding Author:

M. Iqbal Parabi

Jurusan Ilmu Komputer, FMIPA,
Universitas Lampung, Bandar
Lampung, Indonesia

Email:

iqbal.parabi@fmipa.unila.ac.id

Abstract: Artificial intelligence (AI) has advanced rapidly over the past two decades, creating opportunities to address ecological and agricultural challenges by integrating computational methods with genetics. This study aims to map the scientific landscape of research at the intersection of AI, insect population genetics, and coffee agroecosystems. A bibliometric analysis was conducted using the Scopus database, covering publications from 1978 to 2025 and employing co-occurrence, co-authorship, centrality, and co-citation analyses supported by VOSviewer for visualization. The results show a significant growth in publications since 2010, with the United States and Brazil as leading contributors, while collaborations among influential authors and institutions have shaped three main clusters: ecology and agroecosystem management, insect-pest interactions and biological control, and genetics with molecular approaches to plant metabolism. The co-citation network further highlights the integration of pest ecology, biodiversity conservation, and the economic value of pollinators as central themes. These findings indicate that AI-genetics integration is increasingly pivotal for sustainable coffee management, with future research directions emphasizing predictive modeling of pest and pollinator dynamics under climate variability, alongside investigations into soil microbiomes and pollinator health to enhance resilience in coffee production systems.

Keywords: agroecosystems, artificial intelligence, coffee, insect genetics.

Pendahuluan

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis yang memegang peranan penting dalam dinamika perekonomian global maupun nasional (Ramadhana et al., 2024). Sebagai komoditas perdagangan internasional, kopi menempati posisi sentral dalam menggerakkan rantai nilai global yang melibatkan jutaan pelaku usaha, mulai dari petani kecil di negara produsen hingga pelaku industri pengolahan dan distribusi di negara konsumen (Suwali et al., 2022). Di Indonesia, kopi tidak hanya menjadi sumber devisa dan penopang ekonomi daerah, tetapi juga memiliki nilai sosial-budaya yang kuat,

tercermin dalam tradisi, gaya hidup, dan identitas masyarakat di berbagai daerah penghasil kopi (Hida & Rachmida, 2023). Dengan semakin ketatnya persaingan di pasar global, upaya peningkatan produktivitas dan kualitas kopi menjadi agenda prioritas yang harus diupayakan melalui inovasi teknologi, perbaikan tata kelola budidaya, dan penguatan kolaborasi antar pemangku kepentingan dalam rantai pasok global. Pada tingkat hulu, keberhasilan budidaya kopi sangat bergantung pada kesehatan dan keberlanjutan agroekosistem (Evizal et al., 2020). Di antara komponen ekosistem tersebut, serangga memegang peran krusial, baik sebagai agen penyerbuk maupun sebagai pengelola

ekosistem tanah (Ayu et al., 2020). Polinator seperti lebah, termasuk lebah tanpa sengat, berkontribusi signifikan terhadap keberhasilan penyerbukan bunga kopi, yang secara langsung meningkatkan kuantitas dan kualitas biji kopi (Priyambodo & Permatasari, 2024). Sementara itu, kelompok serangga dekomposer berperan dalam menguraikan bahan organik dan mengembalikan nutrisi penting ke dalam tanah, menjaga keseimbangan siklus hara yang menunjang pertumbuhan tanaman (Schmitt et al., 2020). Di balik peran ekologisnya, pemahaman mendalam mengenai aspek genetika serangga yang meliputi keragaman genetik, adaptasi fisiologis, serta ekspresi gen yang berkaitan dengan perilaku dan ketahanan terhadap stres lingkungan, menjadi kunci untuk merancang strategi konservasi polinator dan pengelolaan hama berbasis biologi (Leftwich et al., 2016). Studi genetika serangga dalam konteks agroekosistem kopi membuka peluang untuk memahami mekanisme adaptasi spesies, mengidentifikasi populasi unggul, dan merancang intervensi pengelolaan yang lebih presisi serta berkelanjutan.

Kemajuan teknologi dalam dua dekade terakhir telah membawa kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) menjadi salah satu pilar utama inovasi lintas sektor, termasuk di bidang pertanian presisi dan agroekologi (Brundage et al., 2020). Dalam konteks kopi, AI memiliki potensi besar untuk merevolusi pendekatan pemantauan dan pengelolaan serangga melalui *image recognition* untuk identifikasi spesies secara cepat dan akurat, *machine learning* untuk memprediksi dinamika populasi, serta analisis data genetika skala besar untuk memahami struktur populasi dan hubungan filogenetik antarspesies (de Oliveira et al., 2021). Lebih jauh, AI dapat digunakan untuk mengintegrasikan data lingkungan, data genetik, dan data perilaku serangga dalam model prediktif yang mendukung pengambilan keputusan budidaya secara adaptif (Priyambodo & Permatasari, 2024). Integrasi AI dan genetika serangga bukan hanya menawarkan keuntungan dalam efisiensi dan ketepatan analisis, tetapi juga membuka peluang riset lintas disiplin yang dapat menjawab tantangan keberlanjutan perkebunan kopi di tengah perubahan iklim dan tekanan ekologis.

Penelitian integrasi AI dan genetika serangga semakin diakui relevansinya, namun masih minim pemetaan komprehensifnya. Minimnya pemetaan sistematis menyebabkan kesulitan dalam mengidentifikasi tren global, aktor kunci, pusat keunggulan riset, dan peluang kolaborasi internasional. Akibatnya, potensi sinergi antarpemetaan dan antarbidang keilmuan belum dapat dimanfaatkan secara optimal, baik untuk tujuan akademik maupun aplikasi praktis dalam industri kopi. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak akan studi yang tidak hanya merangkum temuan-temuan ilmiah, tetapi juga memetakan jejaring penelitian, arah perkembangan bidang, dan titik temu tematik yang dapat menjadi landasan kolaborasi jangka panjang.

Metode bibliometrik menjadi salah satu pendekatan yang relevan untuk menjawab kebutuhan tersebut (Donthu et al., 2021). Dengan pendekatan kuantitatif yang memanfaatkan data publikasi ilmiah, bibliometrik memungkinkan peneliti mengidentifikasi pola, tren, dan hubungan dalam lanskap penelitian suatu bidang. Basis data *Scopus* dipilih karena memiliki cakupan luas, validitas tinggi, dan kemampuan menyediakan metadata publikasi yang kaya untuk dianalisis (Burnham, 2006). Dalam studi ini, data diambil secara menyeluruh pada tanggal 14 Agustus 2025, mencakup publikasi yang terbit dalam rentang tahun 1978 hingga 2025. Rentang waktu yang panjang ini memungkinkan penelusuran evolusi riset dari fase awal hingga perkembangan terkini, memberikan gambaran utuh tentang bagaimana keterkaitan antara AI, genetika serangga, dan penelitian kopi terbentuk dan berkembang. Dengan memetakan tren publikasi, aktor kunci, tema dominan, dan jejaring kolaborasi internasional, studi ini bertujuan tidak hanya menyajikan potret perkembangan riset, tetapi juga memberikan perspektif strategis bagi pengembangan penelitian dan kolaborasi di masa depan. Hasil analisis diharapkan dapat membantu peneliti, pembuat kebijakan, dan praktisi industri kopi dalam merancang strategi riset dan inovasi yang lebih terarah, berbasis data, dan mampu menjawab tantangan sekaligus memanfaatkan peluang di era pertanian berbasis pengetahuan dan teknologi cerdas.

Bahan dan Metode

Penilaian Bibliometrik

Analisis bibliometrik merupakan metodologi untuk mengkaji serta menafsirkan literatur ilmiah. Pendekatan ini memungkinkan peneliti menelusuri perkembangan suatu bidang secara mendalam, sekaligus mengungkap area kajian baru yang sedang berkembang (Donthu et al., 2021). Linnenluecke et al. (2020) mendefinisikan evaluasi bibliometrik sebagai teknik akademik yang secara sistematis menganalisis keluaran ilmiah melalui kerangka statistik. Salah satu komponen utama pendekatan ini adalah *citation analysis* yang memanfaatkan jejaring sitasi untuk menggambarkan secara visual hubungan antar karya ilmiah.

Dalam penelitian ini, analisis bibliometrik diintegrasikan dengan *content analysis* guna menguraikan dan menafsirkan perkembangan intelektual serta arah penelitian terkait keterkaitan kecerdasan buatan (AI) dan genetika serangga dalam konteks perkebunan kopi. Pendekatan gabungan ini memberikan gambaran menyeluruh tentang dinamika publikasi, pola kolaborasi, dan topik penelitian yang dominan sepanjang periode kajian.

Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 30 Juli 2025 dengan menggunakan basis data *Scopus* sebagai sumber data Tunggal. Strategi pencarian difokuskan pada publikasi yang memuat ((TITLE-ABS-KEY("population genetics" OR "genomic" OR "genetics" OR "population" OR "community" OR "dynamic community" OR "dynamic population") AND TITLE-ABS-KEY("coffee" OR "coffee plantation" OR "coffee agroecosystem") AND TITLE-ABS-KEY("insect" OR "pollinator" OR "bee")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "BIOC")))) dalam judul, abstrak, atau kata kunci. Pemilihan ini dimaksudkan untuk menjangkau literatur yang relevan dengan penelitian kecerdasan buatan dan genetika serangga dalam agroekosistem kopi.

Analisis Data

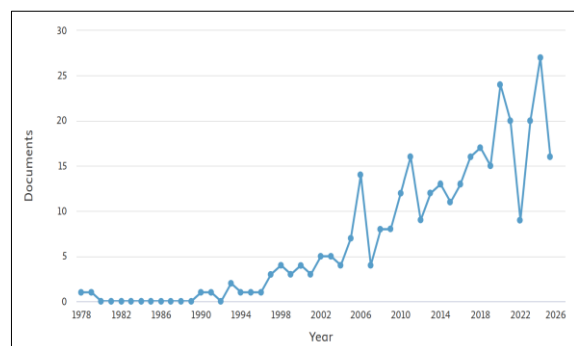
Dataset yang diperoleh dari *Scopus* mencakup metadata penting seperti nama penulis, judul artikel, abstrak, kata kunci, tahun publikasi, serta daftar pustaka yang disitasi. Analisis dilakukan melalui beberapa tahap, meliputi: *network analysis*, statistik deskriptif, analisis isi, dan evaluasi bibliometrik.

Statistik deskriptif digunakan untuk mengukur frekuensi publikasi tahunan, mengidentifikasi jurnal terkemuka, dan penulis paling berpengaruh dalam domain penelitian ini. Informasi negara paling produktif dianalisis menggunakan *Microsoft excel* yang terkoneksi dengan *Bing*, serta untuk *network analysis* dan pemetaan bibliometrik, perangkat lunak *VOSviewer*. Alat ini juga dimanfaatkan untuk menganalisis struktur ko-sitasi, dan *co-occurrence* kata kunci. Selanjutnya, analisis kluster dilakukan untuk mengidentifikasi kelompok topik utama, diikuti dengan analisis kesenjangan (*gap analysis*) guna menelusuri peluang penelitian yang belum tergarap secara optimal. Pendekatan terintegrasi ini memungkinkan pemahaman komprehensif terhadap lanskap penelitian AI dan genetika serangga pada agroekosistem kopi serta arah pengembangannya di masa depan.

Hasil dan Pembahasan

Tren Publikasi Tahunan

Grafik tren publikasi menunjukkan peningkatan signifikan jumlah dokumen yang membahas keterkaitan kecerdasan buatan, genetika serangga, dan kopi sejak akhir 1990-an hingga 2025 (Gambar 1).



Gambar 1. Tren publikasi tahunan sejak 1978 hingga 2025.

Tren publikasi mengalami stagnasi pada rentang tahun 1978–1997, kemudian jumlah publikasinya mulai meningkat secara bertahap dan mengalami lonjakan tajam sejak 2010, dengan puncak tertinggi mencapai lebih dari 25 publikasi pada tahun 2024. Pola ini mencerminkan tumbuhnya perhatian global terhadap integrasi teknologi dan genetika serangga dalam mendukung pengelolaan perkebunan kopi secara berkelanjutan.

Penulis Paling Produktif

Daftar sepuluh penulis teratas menunjukkan kontribusi signifikan dalam penelitian yang menghubungkan kecerdasan buatan, genetika serangga, dan kopi (Tabel 1). Klein dan Perfecto menempati posisi teratas dengan masing-masing 12 publikasi, diikuti oleh Tscharnkte dengan 11 publikasi. Kehadiran nama-nama ini mencerminkan dominasi dan pengaruh akademik mereka dalam membentuk arah penelitian di bidang ini.

Tabel 1. Daftar penulis paling produktif pada *database Scopus*

No	Nama Penulis	Jumlah Publikasi	Persentase dari Total Publikasi
1	Klein, A.M.	12	0,036
2	Perfecto, I.	12	0,036
3	Tscharnkte, T.	11	0,033
4	Guedes, R.N.C.	9	0,027
5	Benavides, P.	8	0,024
6	Picanço, M.C.	7	0,021
7	Vandermeer, J.	7	0,021
8	Metzger, J.P.	6	0,018
9	Philpott, S.M.	6	0,018
10	Tylianakis, J.M.	5	0,015

Institusi Paling Produktif

Data institusi terproduktif menunjukkan bahwa Universidade Federal de Vicosa dan University of Michigan, Ann Arbor memimpin dengan masing-masing 22 publikasi (Tabel 2). Pada urutan ketiga, USDA *Agricultural Research Service* dengan 21 publikasi dan diikuti dengan Universidade de São Paulo menempati posisi keempat dengan 20 publikasi, sementara beberapa institusi lain seperti Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho dan El Colegio de la Frontera Sur masing-masing

mencatat 14 publikasi. Pola ini mencerminkan konsentrasi riset pada institusi-institusi dengan reputasi kuat dalam studi genetika serangga, agroekosistem kopi, dan penerapan kecerdasan buatan.

Tabel 2. Daftar institusi paling produktif pada *database Scopus*

No	Institution	Jumlah Publikasi
1	Universidade Federal de Vicosa	22
2	University of Michigan, Ann Arbor	22
3	USDA <i>Agricultural Research Service</i>	21
4	Universidade de São Paulo	20
5	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	14
6	El Colegio de la Frontera Sur	14
7	CIRAD	13
8	Georg-August-Universität Göttingen	12
9	University of Hawai‘i at Mānoa	11
10	Universidade Federal de Lavras	10
10	University of California, Berkeley	10

Kata Kunci

Data kata kunci menunjukkan bahwa istilah “*coffee*” mendominasi dengan kemunculan pada 160 publikasi atau 48,34% dari total, diikuti oleh “*hexapoda*” (30,21%) dan “*animals*” (28,70%) (Tabel 3).

Tabel 3. Daftar kata kunci yang paling banyak digunakan

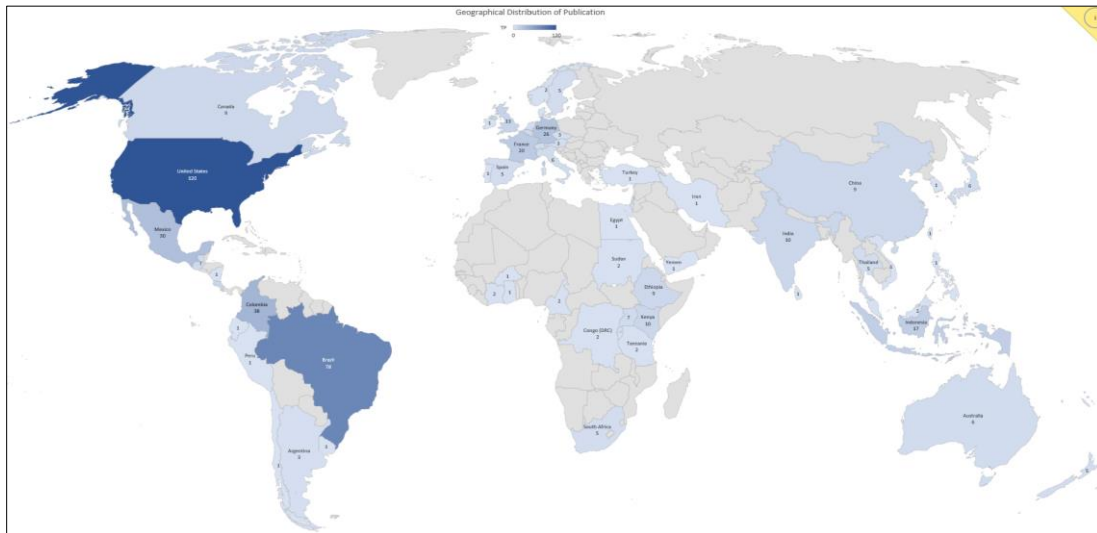
Keywords	TP	%
<i>Coffee</i>	160	48,34%
<i>Hexapoda</i>	100	30,21%
<i>Animals</i>	95	28,70%
<i>Animal</i>	90	27,19%
<i>Article</i>	71	21,45%
<i>Hypothenemus hampei</i>	52	15,71%
<i>Coffea</i>	49	14,80%
<i>Coffea Arabica</i>	47	14,20%
<i>Genetics</i>	46	13,90%
<i>Bee</i>	42	12,69%

Kehadiran kata kunci seperti “*Hypothenemus hampei*” (15,71%), “*genetics*”

(13,90%), dan “bee” (12,69%) mengindikasikan fokus riset yang kuat pada interaksi antara kopi, serangga, serta aspek genetika. Pola ini mencerminkan orientasi penelitian yang menitikberatkan pada pengelolaan agroekosistem kopi melalui pemahaman biologis dan pemanfaatan teknologi.

Negara Paling Produktif

Data distribusi publikasi berdasarkan negara menunjukkan dominasi Amerika Serikat dengan 120 publikasi atau 36,25% dari total, diikuti oleh Brasil dengan 78 publikasi dan Kolombia dengan 38 publikasi (Gambar 2).

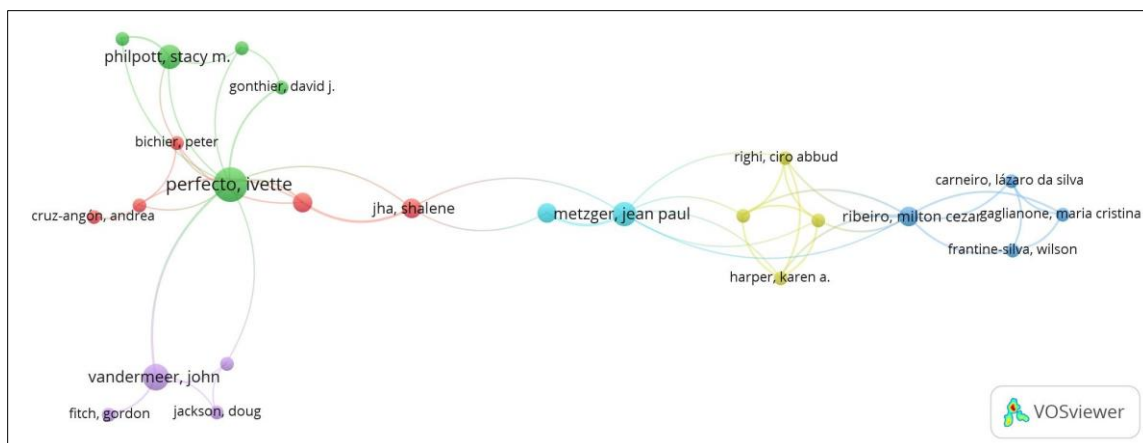


Gambar 2. Tingkat produktivitas publikasi setiap negara diilustrasikan melalui gradasi warna, di mana intensitas warna yang lebih gelap merepresentasikan jumlah publikasi yang lebih tinggi.

Negara-negara lain seperti Meksiko, Jerman, dan Prancis juga mencatat kontribusi signifikan, sementara Indonesia menempati posisi ketujuh dengan 17 publikasi. Pola ini mencerminkan konsentrasi riset di negara-negara produsen kopi utama dan pusat-pusat penelitian terkemuka dunia yang aktif mengkaji keterkaitan kecerdasan buatan, genetika serangga, dan agroekosistem kopi.

Analisis Sentralitas pada Jejaring Kolaborasi Penulis

Peta jejaring kolaborasi penulis menunjukkan bahwa Perfecto menempati posisi sentral dengan konektivitas tinggi terhadap sejumlah penulis lain, seperti Philpott, Bichier, dan Cruz-Angon (Gambar 3). Konektivitas ini mencerminkan peran strategisnya dalam menghubungkan berbagai klaster peneliti, termasuk kolaborasi lintas kelompok.

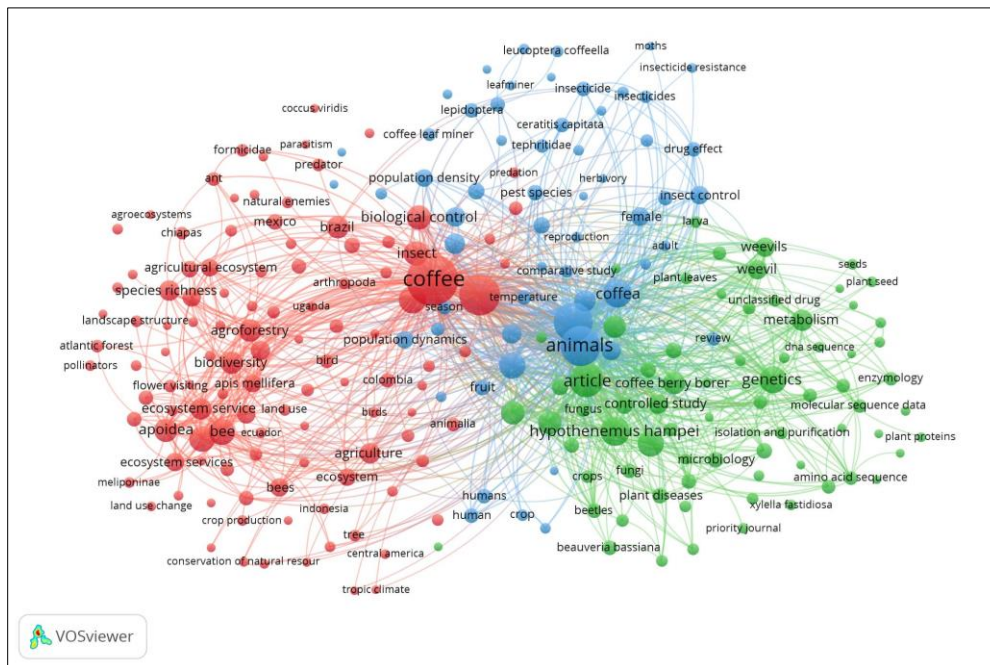


Gambar 3. Peta visualisasi jejaring kolaborasi penulis.

Analisis Co-occurrence

Peta visualisasi jejaring *co-occurrence* atas kata kunci menunjukkan tiga kluster utama yang saling terhubung, dengan “*coffee*” dan “*animals*” sebagai simpul sentral (Gambar 4). Kluster merah berfokus pada ekologi dan pengelolaan agroekosistem, kluster biru terkait dengan pengendalian hama dan interaksi

serangga, sementara kluster hijau menitikberatkan pada genetika, biologi molekuler, dan metabolisme tanaman. Pola keterhubungan ini menggambarkan keterpaduan riset lintas disiplin yang mengintegrasikan ekologi, genetika serangga, dan produksi kopi untuk mendukung pengelolaan perkebunan yang berkelanjutan.



Gambar 4. Peta visualisasi jejaring *co-occurrence* atas kata kunci.

Pembahasan Publikasi Tahunan

Grafik tren publikasi tahunan menunjukkan bahwa penelitian yang menghubungkan kecerdasan buatan, genetika serangga, dan kopi telah mengalami perkembangan yang cukup dinamis sejak 1978. Periode awal 1978 hingga 1997 ditandai dengan stagnasi jumlah publikasi, yang kemungkinan besar dipengaruhi oleh keterbatasan teknologi analisis genetika dan rendahnya penetrasi teknologi kecerdasan buatan di sektor pertanian (Samuel et al., 2024). Memasuki akhir 1990-an, mulai terlihat adanya peningkatan bertahap, yang dapat dikaitkan dengan kemajuan teknologi molekuler, meningkatnya kesadaran akan peran polinator dalam produktivitas kopi, serta mulai meluasnya penggunaan komputer untuk analisis data biologis (Suarez-Diaz, 2016).

Lonjakan yang lebih tajam terjadi setelah 2010, bertepatan dengan semakin matangnya

teknologi *machine learning*, perluasan basis data genetika, dan ketersediaan perangkat lunak analisis bibliometrik yang memudahkan penelusuran literatur ilmiah (Ellegaard & Wallin, 2015). Periode ini juga selaras dengan meningkatnya perhatian global terhadap isu keberlanjutan pertanian dan adaptasi terhadap perubahan iklim, yang mendorong kolaborasi lintas disiplin antara ahli genetika, ekologi serangga, dan ilmuwan data. Puncak publikasi pada tahun 2024 dengan lebih dari 25 dokumen menunjukkan adanya lonjakan ketertarikan peneliti, yang kemungkinan diperkuat oleh agenda riset global terkait ketahanan pangan dan adopsi kecerdasan buatan di sektor agroekosistem (Waseem et al., 2024).

Fluktuasi jumlah publikasi dari tahun ke tahun, termasuk penurunan signifikan pada 2021 dan 2023, dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti keterbatasan pendanaan riset, perubahan prioritas kebijakan penelitian, atau dampak

peristiwa global seperti pandemi COVID-19 yang sempat menghambat kerja lapangan dan kolaborasi internasional. Meskipun demikian, tren keseluruhan menunjukkan arah peningkatan yang konsisten, menandakan bahwa keterkaitan AI, genetika serangga, dan kopi semakin menjadi fokus strategis dalam riset pertanian berkelanjutan. Jika tren ini berlanjut, diperkirakan jumlah publikasi akan terus meningkat di tahun-tahun mendatang seiring dengan semakin berkembangnya teknologi dan kolaborasi riset lintas negara.

Penulis Paling Produktif

Data pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa Klein dan Perfecto merupakan penulis dengan produktivitas tertinggi dalam penelitian yang menghubungkan kecerdasan buatan, genetika serangga, dan kopi, masing-masing dengan 12 publikasi atau sekitar 3,63% dari total publikasi. Posisi berikutnya ditempati oleh Tschamtko dengan 11 publikasi (3,32%), diikuti oleh Guedes dengan 9 publikasi (2,71%). Penulis lain seperti Benavides, Picanço, Vandermeer, Metzger, Philpott, dan Tylianakis, juga menunjukkan kontribusi signifikan dengan jumlah publikasi antara 5 hingga 8. Dominasi nama-nama ini mencerminkan posisi mereka sebagai peneliti aktif yang konsisten mengkaji interaksi kompleks antara ekologi serangga, genetika, dan sistem agroekologi kopi, serta keterkaitannya dengan penerapan teknologi modern.

Tingginya jumlah publikasi penulis-penulis tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain keterlibatan mereka dalam proyek riset jangka panjang berskala internasional, akses terhadap jaringan kolaborasi global, serta dukungan pendanaan yang memadai dari institusi atau lembaga donor (Lindahl, 2018). Sebagian besar dari mereka juga berasal dari universitas dan pusat riset terkemuka yang memiliki fasilitas laboratorium, akses data genetika, dan teknologi analisis mutakhir yang memudahkan integrasi AI dalam kajian genetika serangga. Selain itu, reputasi akademik dan pengalaman mereka sebagai penulis utama maupun kolaborator lintas disiplin memungkinkan kontribusi berkelanjutan terhadap literatur ilmiah, sehingga memperkuat pengaruh mereka dalam membentuk arah dan prioritas riset di bidang ini (Petersen et al., 2014).

Institusi Paling Produktif

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa Universidade Federal de Vicosa dan University of Michigan, Ann Arbor berada di posisi teratas dengan masing-masing 22 publikasi, diikuti oleh USDA *Agricultural Research Service* dengan 21 publikasi dan Universidade de São Paulo dengan 20 publikasi. Institusi-institusi ini dikenal memiliki tradisi riset kuat di bidang agroekologi, genetika serangga, dan sistem produksi kopi berkelanjutan, serta aktif mengintegrasikan kecerdasan buatan dalam penelitian mereka (Wezel et al., 2009). Selain itu, institusi seperti Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho dan El Colegio de la Frontera Sur, yang masing-masing mencatat 14 publikasi, turut memperkuat kontribusi riset internasional di bidang ini. Sebaran publikasi ini menunjukkan adanya konsentrasi penelitian pada pusat-pusat akademik yang telah lama menjadi rujukan dalam pengelolaan agroekosistem tropis dan subtropis.

Tingginya produktivitas publikasi dari institusi-institusi tersebut dapat dikaitkan dengan sejumlah faktor strategis. Pertama, mereka memiliki jaringan kolaborasi global yang luas, sehingga memungkinkan partisipasi dalam berbagai proyek internasional yang fokus pada konservasi polinator, genetika serangga, dan inovasi teknologi pertanian (Li et al., 2016). Kedua, dukungan infrastruktur riset yang memadai, mulai dari laboratorium genetika molekuler hingga fasilitas komputasi canggih untuk pemodelan AI, mempercepat proses penelitian dan publikasi (Kendall et al., 2017). Ketiga, lokasi geografis beberapa institusi yang berada di kawasan penghasil kopi utama, seperti Brasil, Meksiko, dan Amerika Serikat bagian tropis, memberikan akses langsung terhadap lahan penelitian dan komunitas petani, sehingga memudahkan pengumpulan data lapangan dan penerapan teknologi di dunia nyata (Fontelo & Liu, 2018).

Negara Paling Produktif

Distribusi publikasi pada Gambar 2 menunjukkan bahwa Amerika Serikat menempati posisi teratas dengan 120 publikasi atau 36,25% dari total, diikuti oleh Brasil dengan 78 publikasi (23,56%) dan Kolombia dengan 38 publikasi (11,48%). Dominasi negara-negara ini tidak terlepas dari peran mereka sebagai pusat riset

internasional dengan infrastruktur penelitian yang maju, akses terhadap sumber daya teknologi canggih, dan jaringan kolaborasi global yang luas (Harvey et al., 2021). Sebagai produsen kopi utama dunia, Brasil dan Kolombia memiliki insentif tinggi untuk mengembangkan penelitian terkait genetika serangga dan penerapan kecerdasan buatan demi meningkatkan produktivitas dan ketahanan perkebunan kopi mereka. Sementara itu, Amerika Serikat, meskipun bukan produsen kopi utama secara volume, memiliki kapasitas riset dan sumber daya pendanaan yang besar, memungkinkan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi dan metodologi penelitian lintas disiplin (Krishnan et al., 2021).

Kontribusi dari negara-negara seperti Meksiko, Jerman, dan Prancis juga patut dicermati. Meksiko merupakan salah satu produsen kopi penting di Amerika Latin yang memiliki riset ekologi pertanian, sedangkan Jerman dan Prancis merupakan pusat penelitian dan inovasi teknologi, khususnya di bidang genetika molekuler, ilmu tanaman, dan kecerdasan buatan (Servín-Juárez et al., 2021; Seudieu, 2008). Selain itu, negara-negara ini juga menjadi lokasi utama bagi lembaga donor yang mendanai penelitian di bidang pertanian, seperti *Deutsche Forschungs Gemeinschaft* (DFG) di Jerman dan *Agence Nationale de la Recherche* (ANR) di Prancis (Hollert et al., 2011; Giry & Schultz, 2022). Kehadiran Indonesia di peringkat ketujuh dengan 17 publikasi (5,14%) mencerminkan potensi besar yang masih dapat ditingkatkan. Sebagai salah satu produsen kopi terbesar dunia, khususnya untuk varietas robusta, Indonesia memiliki peluang strategis untuk memperluas penelitian genetika serangga dan pemanfaatan AI dalam pengelolaan perkebunan kopi (Apriani et al., 2022; Rowe et al., 2022).

Analisis Sentralitas pada Jejaring Kolaborasi Penulis

Peta jejaring kolaborasi penulis ini memperlihatkan bahwa Ivette Perfecto menjadi simpul sentral dengan tingkat konektivitas tinggi terhadap berbagai penulis, seperti Stacy M. Philpott, Peter Bichier, dan Andrea Cruz-Angon. Posisi ini menunjukkan kapasitasnya sebagai *hub* utama yang mengintegrasikan beragam penelitian lintas tema, mulai dari ekologi agroforestri hingga pengelolaan hama pada kopi. Peran sentral ini kemungkinan besar terbentuk melalui rekam jejak publikasi yang konsisten,

keterlibatan dalam proyek internasional, serta kepemimpinan dalam kelompok riset multidisiplin (Bloch et al., 2023).

Keterhubungan lintas klaster juga terlihat pada kolaborasi antara Perfecto dan Jean Paul Metzger, yang berfungsi sebagai jembatan penghubung ke jejaring peneliti lain seperti Ciro Abbud Righi dan Milton Cezar Ribeiro. Pola ini mengindikasikan adanya struktur kolaborasi terdistribusi, di mana penghubung antar-klaster memainkan peran penting dalam memperluas jangkauan riset dan mempercepat pertukaran ide. Faktor pendukungnya dapat berupa kesamaan fokus penelitian, partisipasi bersama dalam proyek pendanaan internasional, serta keanggotaan pada konsorsium penelitian global (Yan & Ding, 2009).

Dari perspektif dinamika jejaring ilmiah, struktur ini mencerminkan model kolaborasi berbasis *small-world network*, di mana terdapat pusat-pusat penelitian dengan koneksi padat yang dihubungkan oleh individu berperan sebagai penghubung strategis (Bassett & Bullmore, 2006). Model ini terbukti efektif dalam meningkatkan produktivitas publikasi, mempercepat adopsi metode baru, dan mendorong penelitian lintas disiplin (Zhang & Zhang, 2009). Dalam konteks bidang kecerdasan buatan, genetika serangga, dan kopi, jejaring seperti ini memfasilitasi integrasi antara pendekatan ekologi lapangan, analisis molekuler, dan pemodelan berbasis AI untuk menghasilkan inovasi pengelolaan perkebunan yang berkelanjutan.

Analisis Co-occurrence

Peta jejaring *co-occurrence* kata kunci pada Gambar 4 memperlihatkan adanya tiga klaster utama yang saling berhubungan erat, menunjukkan bahwa penelitian terkait kecerdasan buatan, genetika serangga, dan kopi memiliki keterkaitan multidisiplin yang kuat.

Klaster Merah: Ekologi dan Pengelolaan Agroekosistem

Klaster merah, dengan kata kunci seperti *coffee*, *insect*, *biological control*, dan *ecosystem services*, merepresentasikan fokus penelitian pada ekologi, konservasi, dan pengelolaan agroekosistem. Hal ini sejalan dengan meningkatnya kesadaran global akan pentingnya menjaga keseimbangan ekologi perkebunan kopi

melalui pemanfaatan polinator alami dan musuh alami hama.

Analisis isi pada klaster merah menunjukkan dominasi penelitian yang mengkaji keterkaitan antara ekosistem perkebunan kopi, keanekaragaman hayati, dan *ecosystem services*. Topik seperti *biodiversity*, *agroforestry*, *species richness*, dan *ecosystem service* mengindikasikan bahwa riset di klaster ini menitikberatkan pada peran polinator dan musuh alami dalam mendukung produktivitas kopi. Pendekatan yang digunakan seringkali mengombinasikan survei lapangan, analisis ekologi lanskap, serta pemodelan spasial untuk memahami dampak pengelolaan lahan dan perubahan tata guna lahan terhadap populasi serangga bermanfaat.

Selain itu, penelitian di klaster ini banyak membahas strategi pengelolaan lahan yang berkelanjutan, termasuk penerapan sistem agroforestri, restorasi habitat polinator, dan integrasi konservasi biodiversitas ke dalam praktik budidaya kopi. Pendekatan ini dianggap penting mengingat tekanan dari perubahan iklim dan intensifikasi pertanian yang dapat mengurangi keanekaragaman hayati. Integrasi teknologi, seperti pemetaan berbasis citra satelit dan AI untuk monitoring polinator, mulai muncul sebagai inovasi baru yang memperkuat relevansi penelitian di klaster ini.

Klaster Biru: Pengendalian Hama dan Interaksi Serangga

Klaster biru mengelompokkan kata kunci yang berhubungan dengan pengendalian hama dan interaksi serangga, termasuk *pest species*, *coffee leaf miner*, *behavior*, dan *insect control*. Fokus ini menunjukkan perhatian ilmuwan terhadap ancaman hama utama seperti *Hypothenemus hampei* (kumbang penggerek buah kopi) yang secara signifikan mempengaruhi produktivitas kopi. Keberadaan kata kunci yang mengarah pada perilaku serangga dan pengendalian berbasis biologi mengindikasikan bahwa riset di klaster ini banyak memanfaatkan pendekatan ekologi terapan, integrasi data lapangan, serta penerapan teknologi pemantauan modern, termasuk potensi penggunaan AI untuk deteksi dini dan manajemen hama secara presisi.

Analisis isi menunjukkan bahwa penelitian di klaster ini melibatkan studi ekologi perilaku serangga, efektivitas agen pengendali hayati, serta strategi pengelolaan terpadu hama.

Beberapa riset telah mengadopsi sensor otomatis, perangkat berbasis feromon, dan sistem prediksi berbasis AI untuk meningkatkan efisiensi deteksi dini dan pengendalian hama.

Klaster ini tidak hanya memfokuskan kajian pada aspek praktis pengendalian hama, tetapi juga mencakup studi interaksi serangga dengan tanaman kopi pada tingkat ekofisiologi. Penelitian ini memanfaatkan data eksperimen laboratorium dan lapangan untuk mengkaji respon serangga terhadap variasi lingkungan, seperti suhu, kelembapan, dan ketersediaan sumber makanan. Temuan-temuan ini penting untuk memprediksi dinamika populasi hama di bawah skenario perubahan iklim dan untuk mengembangkan strategi adaptasi pengelolaan hama yang lebih tangguh.

Klaster Hijau: Genetika, Biologi Molekuler, dan Metabolisme Tanaman

Klaster hijau, yang didominasi kata kunci seperti *genetics*, *microbiology*, *metabolism*, dan *molecular sequence data*, mencerminkan fokus penelitian pada tingkat molekuler dan genetik tanaman kopi serta serangga terkait. Riset pada klaster ini kerap memanfaatkan teknologi *omics*, bioinformatika, dan analisis molekuler untuk memahami keragaman genetik, serta potensi pemuliaan tanaman kopi yang lebih tahan terhadap hama dan penyakit.

Klaster hijau didominasi oleh riset genetika serangga dan tanaman kopi, dengan kata kunci seperti *genetics*, *molecular sequence data*, *metabolism*, dan *microbiology*. Analisis isi mengungkap bahwa penelitian pada klaster ini berfokus pada penguraian profil genetik polinator, hama, dan tanaman kopi untuk memahami variasi genetik, adaptasi lingkungan, dan mekanisme ketahanan terhadap penyakit. Teknologi seperti *whole genome sequencing*, *transcriptomics*, dan *metabolomics* digunakan secara luas untuk menghasilkan basis data genetika yang dapat dimanfaatkan dalam program pemuliaan kopi dan konservasi serangga bermanfaat.

Selain genetika tanaman, klaster ini juga mencakup penelitian mikrobiologi tanah dan interaksi mikroba dengan tanaman kopi, yang memiliki implikasi penting bagi kesehatan tanaman dan efisiensi penyerapan nutrisi. Pemanfaatan AI dalam analisis data *omics* memungkinkan identifikasi cepat gen atau jalur

metabolik penting yang dapat menjadi target rekayasa genetik atau intervensi agronomi. Dengan demikian, klaster ini menjadi jembatan penting antara riset molekuler dan aplikasi praktis di lapangan.

Temuan

Analisis jejaring *co-occurrence* kata kunci menunjukkan bahwa penelitian pada keterkaitan kecerdasan buatan, genetika serangga, dan kopi telah berkembang menjadi tiga domain utama: ekologi agroekosistem, pengendalian hama, dan genetika molekuler. Masing-masing klaster menunjukkan hubungan erat dengan kata kunci sentral seperti *coffee* dan *animals*, mengindikasikan keterpaduan lintas disiplin yang kuat. Penelitian-penelitian ini tidak hanya mencerminkan fokus ilmiah, tetapi juga merepresentasikan kebutuhan praktis industri kopi untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan.

Temuan lainnya adalah tingginya keterhubungan antar klaster, yang menunjukkan bahwa pendekatan integratif semakin diadopsi. Misalnya, penelitian pengendalian hama kini banyak memanfaatkan data genetika serangga untuk merancang strategi manajemen yang lebih presisi. Begitu pula, riset ekologi lanskap mulai menggabungkan analisis molekuler untuk memahami peran spesies tertentu dalam mempertahankan layanan ekosistem. Keterhubungan ketiga klaster ini menunjukkan bahwa pengelolaan perkebunan kopi berkelanjutan membutuhkan pendekatan integratif, di mana hasil riset genetika dan molekuler dapat dikolaborasikan dengan strategi pengelolaan ekologi dan teknologi pengendalian hama berbasis data.

Prediksi Area Riset di Era Mendatang

Pengembangan penelitian di bidang ini diproyeksikan mengarah pada integrasi yang lebih kuat antara analisis molekuler dan teknologi AI untuk memodelkan serta memprediksi respons polinator maupun hama terhadap dinamika perubahan lingkungan secara *real-time*. Pemanfaatan model prediktif berbasis *machine learning* yang menggabungkan data genomik, citra spasial dan lapangan, serta parameter iklim diharapkan mampu memberikan rekomendasi adaptasi yang lebih akurat, cepat, dan kontekstual bagi praktisi pertanian serta

perumus kebijakan. Selain itu, kajian tentang mikrobioma tanah dan keterkaitannya dengan fisiologi tanaman kopi serta keberagaman polinator dipandang memiliki potensi strategis dalam mendukung peningkatan produktivitas, stabilitas ekosistem, dan keberlanjutan sistem agroforestri kopi.

Riset masa depan juga perlu memperluas fokus pada kolaborasi internasional yang melibatkan negara-negara produsen kopi di Asia, Afrika, dan Amerika Latin, sehingga menghasilkan basis data yang lebih representatif secara global. Selain itu, eksplorasi terhadap dampak perubahan iklim terhadap interaksi genetika serangga, produktivitas tanaman, dan kesehatan ekosistem kopi akan menjadi krusial dalam menyusun strategi jangka panjang untuk ketahanan pangan dan keberlanjutan industri kopi.

Kesimpulan

Analisis bibliometrik periode 1978 hingga 2025 menunjukkan meningkatnya perhatian global terhadap integrasi kecerdasan buatan, genetika serangga, dan kopi, terutama sejak 2010. Publikasi didominasi oleh Amerika Serikat dan Brasil dengan kontribusi besar dari institusi dan penulis berpengaruh. Temuan ini menegaskan pentingnya riset lintas disiplin, dengan proyeksi area pengembangan ke depan mencakup pemanfaatan *machine learning* berbasis data genomik, ekologi polinator, serta riset mikrobioma untuk mendukung keberlanjutan agroekosistem kopi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi kepada LPPM Universitas Lampung atas dana Hibah Penelitian Dasar DIPA BLU tahun 2025 yang telah memberikan pembiayaan pada publikasi ini.

Referensi

Ayu, L. A., Nasirudin, M., & Wardhani, Y. (2020). Keanekaragaman Serangga Di Perkebunan Kopi Excelsa Desa Panglungan Kabupaten Jombang Jawa Timur. *AGROSAINTIFIKA*, 3(1), 163-168.

- <https://doi.org/10.32764/agrosaintifika.v3i1.1026>
- Apriani, D., Marissa, F., & Mahdi Igamo, A. (2022). Indonesian Coffee at The International Market. *Jurnal Paradigma Ekonomika*, 17(2), 261–272. <https://doi.org/10.22437/jpe.v17i2.13983>
- Bassett, D. S., & Bullmore, E. D. (2006). Small-world brain networks. *The neuroscientist*, 12(6), 512-523. <https://doi.org/10.1177/1073858406293182>
- Bloch, F., Jackson, M. O., & Tebaldi, P. (2023). Centrality measures in networks. *Social Choice and Welfare*, 61(2), 413-453. <https://doi.org/10.1007/s00355-023-01456-4>
- Brundage, M., Avin, S., Wang, J., Belfield, H., Krueger, G., Hadfield, G., ... & Anderljung, M. (2020). Toward trustworthy AI development: mechanisms for supporting verifiable claims. *arXiv preprint arXiv:2004.07213*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.07213>
- Burnham, J.F. Scopus database: a review. *Biomed Digit Libr* 3, 1 (2006). <https://doi.org/10.1186/1742-5581-3-1>
- de Oliveira, M. F., dos Santos, A. F., Kazama, E. H., de Souza Rolim, G., & da Silva, R. P. (2021). Determination of application volume for coffee plantations using artificial neural networks and remote sensing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 106096. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106096>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of business research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Ellegaard, O., & Wallin, J. A. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact?. *Scientometrics*, 105(3), 1809-1831. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1645-z>
- Evizal, R., Tohari, T., Prijambada, I. D., & Widada, J. (2020). Peranan Pohon Pelindung dalam Menentukan Produktivitas Kopi. *Jurnal Agrotropika*, 17(1). <https://doi.org/10.23960/ja.v17i1.4276>
- Fontelo, P., & Liu, F. (2018). A review of recent publication trends from top publishing countries. *Systematic reviews*, 7(1), 147. <https://doi.org/10.1186/s13643-018-0819-1>
- Giry, J., & Schultz, É. (2022). L'Agence nationale de la recherche, fer de lance d'une internationalisation néolibérale de la politique scientifique française (2004-2010)?. *Revue internationale de politique comparée*, 29(1), 173-199. <https://doi.org/10.3917/ripc.291.0173>
- Harvey, C. A., Pritts, A. A., Zwetsloot, M. J., Jansen, K., Pulleman, M. M., Armbricht, I., ... & Valencia, V. (2021). Transformation of coffee-growing landscapes across Latin America. A review. *Agronomy for sustainable development*, 41(5), 62. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00712-0>
- Hida, D.A.N., & Rachmina, D. (2023). Integrated Farming System Berbasis Kopi: Produktivitas dan Daya Saing Global yang Optimal. *Policy Brief Pertanian, Kelautan, Dan Biosains Tropika*, 5(4), 796-801. <https://doi.org/10.29244/agro-maritim.0504.796-801>
- Hollert, H., Filser, J., Häußling, R., Hein, M., Matthies, M., Oehlmann, J., ... & Schiwy, A. (2011). Financial research support for ecotoxicology and environmental chemistry in Germany-results of an online survey. *Environmental Sciences Europe*, 23(1), 24. <https://doi.org/10.1186/2190-4715-23-24>
- Kendall, G., Bai, R., Błazewicz, J., De Causmaecker, P., Gendreau, M., John, R., ... & Yee, A. (2016). Good laboratory practice for optimization research. *Journal of the Operational Research Society*, 67(4), 676-689. <https://doi.org/10.1057/jors.2015.77>
- Krishnan, S., Matsumoto, T., Nagai, C., Falconer, J., Shriner, S., Long, J., ... & Vega, F. E. (2021). Vulnerability of coffee (*Coffea* spp.) genetic resources in the United States. *Genetic Resources and*

- Crop Evolution*, 68(7), 2691-2710.
<https://doi.org/10.1007/s10722-021-01217-1>
- Leftwich, P. T., Bolton, M., & Chapman, T. (2016). Evolutionary biology and genetic techniques for insect control. *Evolutionary Applications*, 9(1), 212-230.
<https://doi.org/10.1111/eva.12280>
- Li, L., Catala-Lopez, F., Alonso-Arroyo, A., Tian, J., Aleixandre-Benavent, R., Pieper, D., ... & Yang, K. (2016). The global research collaboration of network meta-analysis: a social network analysis. *PLoS one*, 11(9), e0163239.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163239>
- Lindahl, J. (2018). Predicting research excellence at the individual level: The importance of publication rate, top journal publications, and top 10% publications in the case of early career mathematicians. *Journal of Informetrics*, 12(2), 518-533.
<https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.04.002>
- Linnenluecke, M. K., Marrone, M., & Singh, A. K. (2020). Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses. *Australian journal of management*, 45(2), 175-194.
<https://doi.org/10.1177/03128962198776>
- Petersen, A. M., Fortunato, S., Pan, R. K., Kaski, K., Penner, O., Rungi, A., ... & Pammolli, F. (2014). Reputation and impact in academic careers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(43), 15316-15321.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1323111111>
- Priyambodo, P., & Permatasari, N. (2025). Asesmen Penggambaran Ciri Fenotipe dan Lubang Sarang *Tetragonula laeviceps* oleh Kecerdasan Artifisial *Stable Diffusion*. *Jurnal Biosense*, 8(2), 76-89.
<https://doi.org/10.36526/biosense.v8i2.4876>
- Priyambodo, P., & Permatasari, N. (2024). Evaluasi Visualisasi ChatGPT Dalam Mengkarakterisasi Sifat Fenotipe Heterotrigona itama Sebagai Agen Polinator Kopi. *BIO-CONS: Jurnal Biologi dan Konservasi*, 6(2), 2620–3529.
<https://doi.org/10.31537/biocons.v6i2.2096>
- Ramadhana, A. W. S., Aulia, A. D., & Ulum, T. (2024). Keunggulan Komparatif Ekspor Kopi di Indonesia. *Journal of Economics, Business, Accounting and Management*, 2(1), 110-123.
<https://doi.org/10.61476/095w2813>
- Rowe, R. L., Prayogo, C., Oakley, S., Hairiah, K., van Noordwijk, M., Wicaksono, K. P., ... & McNamara, N. P. (2022). Improved coffee management by farmers in state forest plantations in Indonesia: an experimental platform. *Land*, 11(5), 671.
<https://doi.org/10.3390/land11050671>
- Samuel, J., Tripathi, A., & Mema, E. (2024). A New Era of Artificial Intelligence Begins... Where Will It Lead Us?.
<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5266515>
- Schmitt, L., Aponte-Rolón, B., & Perfecto, I. (2020). Evaluating community effects of a Keystone Ant, *Azteca sericeasur*, on *Inga mitchelliana* leaf litter decomposition in a shaded coffee agroecosystem. *Biotropica*, 52(6), 1253-1261.
<https://doi.org/10.1111/btp.12833>
- Servín-Juárez, R., Trejo-Pech, C. J., Pérez-Vásquez, A. Y., & Reyes-Duarte, Á. (2021). Specialty coffee shops in Mexico: factors influencing the likelihood of purchasing high-quality coffee. *Sustainability*, 13(7), 3804.
<https://doi.org/10.3390/su13073804>
- Seudieu, D. O. (2008). The coffee industry: History and future perspectives. In *Plant-Parasitic Nematodes of Coffee* (pp. 19-26). Dordrecht: Springer Netherlands.
https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8720-2_2
- Suarez-Diaz, E. (2016). Molecular evolution in historical perspective. *Journal of molecular evolution*, 83(5), 204-213.
<https://doi.org/10.1007/s00239-016-9772-6>
- Suwali, Suwali, Hendri Putranto, A., Bintang Panunggul, V., Putriana Nuramanah Kinding, D., & Noviani, F.. (2022). Analisis Kontribusi Ekspor Kopi Terhadap Pdb Sektor Perkebunan di Indonesia. *Perwira Journal of Economics & Business*, 2(2), 32–41.
<https://doi.org/10.54199/pjeb.v2i2.143>
- Waseem, M., Raza, A., & Malik, A. (2024). AI-Driven Crop Yield Prediction and Disease

- Detection in Agroecosystems. In *Maintaining a Sustainable World in the Nexus of Environmental Science and AI* (pp. 229-258). IGI Global. DOI: [10.4018/979-8-3693-6336-2.ch009](https://doi.org/10.4018/979-8-3693-6336-2.ch009)
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for sustainable development*, 29(4), 503-515. <https://doi.org/10.1051/agro/2009004>
- Yan, E., & Ding, Y. (2009). Applying centrality measures to impact analysis: A coauthorship network analysis. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(10), 2107-2118. <https://doi.org/10.1002/asi.21128>
- Zhang, Z., & Zhang, J. (2009). A big world inside small-world networks. *PloS one*, 4(5), e5686. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005686>