

Genetic Research Trends in Caffeine Biosynthesis of Robusta Coffee (*Coffea canephora*)

Nindy Permatasari^{1*}, Sismita Sari¹, Sri Nurmayanti¹, Lu'lu' Kholidah Fauziah¹, Resti Puspa Kartika Sari¹, Maisuri Hardani¹, Siti Hamidatul Aliyah², Priyambodo³

¹Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan, Politeknik Negeri Lampung, Bandar Lampung, Indonesia;

²Pusat Riset Biomedis, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Cibinong-Bogor, Indonesia;

³Jurusan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia,

Article History

Received : March 07th, 2026

Revised : April 07th, 2026

Accepted : April 28th, 2026

*Corresponding Author:

Nindy Permatasari

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

Email:

nindypermatasari@polinela.ac.id

Abstract: Research on caffeine biosynthesis in *Coffea canephora* has expanded across multiple disciplines, yet its global genetic research trends remain insufficiently mapped. This study aimed to analyze the development and thematic structure of genetic research on caffeine biosynthesis in *C. canephora* using a bibliometric approach. Data were retrieved from the Scopus database through keyword-based sampling and filtered based on relevance to genetic and biosynthetic aspects. Bibliometric analyses were conducted to examine publication trends, authorship patterns, country contributions, and keyword co-occurrence networks. The results show a significant increase in publications since the early 2000s, with dominant contributions from the United States, Brazil, and China. Keyword mapping reveals four major research clusters, including plant metabolism, clinical and nutritional studies, experimental models, and genetic variability. However, studies explicitly focusing on the genetic regulation of caffeine biosynthesis, particularly involving N-methyltransferase genes, remain relatively limited compared to broader multidisciplinary themes. These findings indicate that caffeine research in *C. canephora* is highly interdisciplinary but still lacks a strong emphasis on genetic mechanisms, highlighting the need for more targeted molecular and genomic studies to support coffee improvement and functional trait development.

Keywords: Bibliometric analysis; Caffeine; *Coffea canephora*; Research trends.

Pendahuluan

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan bernilai ekonomi tinggi yang diperdagangkan secara global dan mengalami peningkatan permintaan yang konsisten (Vegro & De Almeida, 2020; Ashawat & Ashawat, 2025; Tania & Hurdawaty, 2022). Selain berperan dalam perekonomian negara produsen, kopi juga memiliki nilai sosial dan budaya yang kuat dalam konsumsi masyarakat (Fischer, 2021). Produksi kopi dunia didominasi oleh dua spesies utama, yaitu *Coffea arabica* dan *Coffea canephora*, yang memiliki karakteristik berbeda dalam hal

kualitas biji, adaptasi lingkungan, dan produktivitas (Nadaf *et al.*, 2024; Davis *et al.*, 2021; Ferrão *et al.*, 2024; Saguimpa & Digal, 2024). Di Indonesia, *C. canephora* atau kopi robusta menjadi komoditas utama karena adaptabilitasnya yang tinggi serta kontribusinya terhadap produksi nasional (Tampubolon *et al.*, 2023; Ashardiono & Trihartono, 2024). Selain itu, kandungan kafein yang lebih tinggi pada robusta dibandingkan arabika menjadi salah satu karakteristik penting yang memengaruhi kualitas dan nilai ekonomi produk kopi (Eka *et al.*, 2025).

Kafein merupakan metabolit sekunder

utama pada tanaman kopi yang berperan dalam mekanisme pertahanan terhadap herbivora dan patogen serta memengaruhi interaksi ekologis tanaman (Saud & Salamattullah, 2021; Divekar *et al.*, 2022). Secara biokimia, kafein disintesis melalui jalur metabolisme purin yang melibatkan serangkaian reaksi metilasi bertahap (Šeremet *et al.*, 2022; Malyukova *et al.*, 2022; Jia *et al.*, 2024). Proses ini dikatalisis oleh enzim yang dikode oleh gen dari kelompok N-methyltransferase, seperti xanthosine methyltransferase (XMT), methylxanthine methyltransferase (MXMT), dan dimethylxanthine methyltransferase (DXMT), yang berperan dalam menentukan akumulasi kafein pada tanaman kopi (Sandra *et al.*, 2025; Montis *et al.*, 2024; Lestari *et al.*, 2025). Seiring perkembangan teknologi biologi molekuler dan genomika, penelitian mengenai biosintesis kafein semakin berkembang, mencakup analisis ekspresi gen, metabolomik, serta regulasi jalur biosintesis pada berbagai spesies tanaman (Zhang *et al.*, 2022; Gong *et al.*, 2020; Low *et al.*, 2024). Dengan demikian, kajian mengenai biosintesis kafein tidak hanya penting dalam memahami mekanisme molekuler tanaman, tetapi juga memiliki implikasi terhadap peningkatan kualitas dan pengembangan varietas kopi.

Meskipun penelitian mengenai kafein telah berkembang pesat dan bersifat multidisipliner, sebagian besar studi cenderung berfokus pada aspek nutrisi, kesehatan manusia, dan kimia senyawa bioaktif, sementara kajian yang secara spesifik menyoroti dimensi genetika biosintesis kafein pada *C. canephora* masih relatif terbatas dan tersebar (Faudone *et al.*, 2021; Sharma *et al.*, 2023; Barrea *et al.*, 2023; Song *et al.*, 2024). Beberapa studi bibliometrik sebelumnya telah mengkaji tren penelitian kafein secara umum atau dalam konteks kesehatan dan metabolisme, namun belum secara eksplisit memetakan perkembangan penelitian yang berfokus pada aspek genetik dan jalur biosintesis pada kopi robusta (Gan *et al.*, 2022; Gutiérrez-Hellín *et al.*, 2023). Selain itu, belum banyak penelitian yang mengintegrasikan analisis tren publikasi, pola kolaborasi ilmiah, serta dinamika tema penelitian untuk mengidentifikasi posisi dan arah perkembangan kajian genetika biosintesis

kafein secara komprehensif. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan pengetahuan dalam memahami bagaimana penelitian genetika berkontribusi terhadap pengembangan ilmu dan inovasi pada komoditas kopi.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren global penelitian mengenai genetika biosintesis kafein pada *C. canephora* menggunakan pendekatan bibliometrik. Studi ini secara khusus memetakan perkembangan publikasi, kontribusi penulis dan negara, serta struktur tema penelitian melalui analisis jaringan bibliometrik. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, studi ini menekankan pada identifikasi posisi dan peran aspek genetika dalam lanskap penelitian kafein yang bersifat multidisipliner. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi konseptual dalam memperjelas arah penelitian genetika biosintesis kafein serta mendukung pengembangan strategi riset berbasis molekuler untuk peningkatan kualitas dan nilai ekonomi kopi robusta.

Bahan dan Metode

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan bibliometrik untuk menganalisis tren global penelitian mengenai genetika biosintesis kafein pada *C. canephora*. Data publikasi diperoleh dari basis data Scopus sebagai sumber utama karena cakupan dan kualitas indeksasinya yang luas dalam publikasi ilmiah internasional. Penelusuran literatur dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci yang relevan.

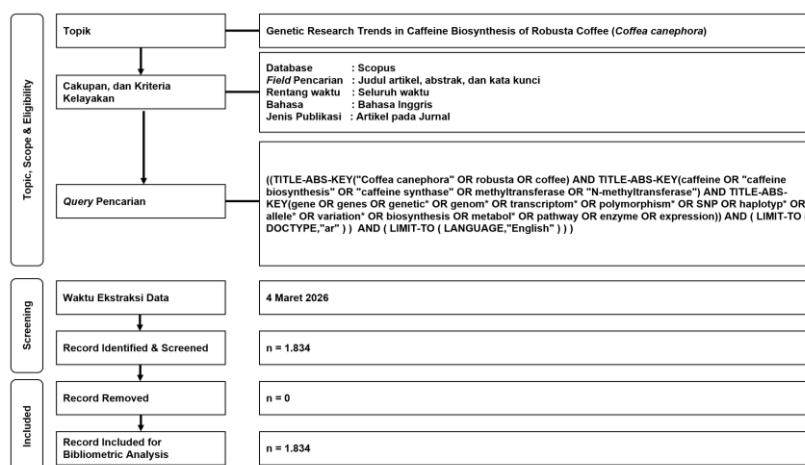
Kriteria inklusi yang digunakan meliputi artikel ilmiah dan artikel ulasan berbahasa Inggris yang relevan dengan aspek genetika dan biosintesis kafein. Setelah proses penyaringan berdasarkan jenis dokumen, bahasa, serta relevansi judul dan abstrak, diperoleh sebanyak 1.834 artikel yang digunakan sebagai dataset dalam analisis.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis yang mengacu pada pendekatan analisis bibliometrik (Gambar 1). Tahap pertama adalah identifikasi dan

pengumpulan data publikasi dari basis data Scopus menggunakan *query* pencarian yang telah ditentukan. Tahap kedua adalah proses seleksi

data berdasarkan kriteria inklusi, yang meliputi penyaringan jenis dokumen, bahasa publikasi, serta kesesuaian topik dengan fokus penelitian.



Gambar 1. Prosedur penelitian.

Tahap ketiga adalah ekstraksi data bibliografis, yang mencakup informasi seperti judul artikel, nama penulis, tahun publikasi, kata kunci, serta sumber jurnal. Tahap keempat adalah pengolahan dan pengelompokan data untuk analisis lebih lanjut. Tahap terakhir adalah visualisasi data dalam bentuk peta jaringan untuk mengidentifikasi pola hubungan antar variabel, seperti kolaborasi penulis, keterkaitan kata kunci, serta hubungan antar sumber rujukan. Seluruh tahapan ini dilakukan secara sistematis untuk memastikan validitas dan konsistensi hasil analisis.

Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan kombinasi perangkat lunak *Microsoft Excel* dan *VOSviewer*. *Microsoft Excel* digunakan untuk menganalisis tren publikasi tahunan, distribusi penulis paling produktif, serta kontribusi negara berdasarkan jumlah publikasi. Sementara itu, *VOSviewer* digunakan untuk melakukan analisis jaringan bibliometrik yang mencakup *co-authorship* (kolaborasi antarnegara), *co-citation* (keterkaitan antar sumber jurnal), serta *co-occurrence* (kemunculan bersama kata kunci).

Selain itu, analisis *overlay visualization* pada *VOSviewer* digunakan untuk mengidentifikasi perkembangan temporal topik penelitian, sehingga memungkinkan pemetaan dinamika perubahan fokus kajian dalam penelitian genetika biosintesis kafein pada *C.*

canephora. Hasil analisis kemudian disajikan dalam bentuk visualisasi jaringan untuk mempermudah interpretasi pola dan tren penelitian yang berkembang.

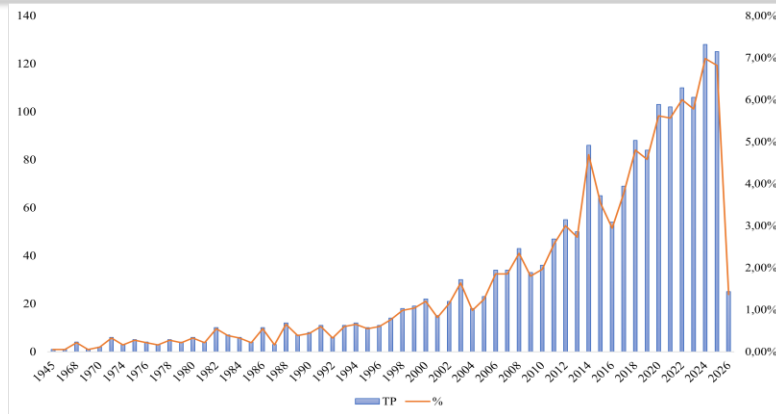
Hasil dan Pembahasan

Hasil

Bagian hasil penelitian ini menyajikan pemetaan komprehensif terhadap struktur dan dinamika penelitian genetika biosintesis kafein pada *C. canephora* berdasarkan analisis bibliometrik. Hasil yang diperoleh mencakup tren publikasi tahunan, penulis dan negara paling produktif, jaringan kolaborasi penelitian antarnegara, serta struktur intelektual dan tematik melalui analisis *co-citation*, *co-occurrence* kata kunci, dan visualisasi *overlay*. Analisis ini memberikan gambaran mengenai pola perkembangan, keterkaitan ilmiah, serta arah evolusi penelitian dalam bidang ini.

Tren Publikasi Tahunan

Perkembangan jumlah publikasi terkait genetika biosintesis kafein pada *C. canephora* menunjukkan adanya peningkatan yang konsisten (Gambar 2). Pola ini mencerminkan semakin besarnya perhatian penelitian terhadap kafein sebagai senyawa bioaktif serta meningkatnya pemanfaatan pendekatan molekuler dalam kajian tanaman kopi.



Gambar 2. Tren publikasi tahunan.

Berdasarkan Gambar 2, jumlah publikasi mulai meningkat sejak awal tahun 2000-an dan terus mengalami lonjakan hingga mencapai puncaknya pada periode 2020–2024. Pola ini menunjukkan bahwa penelitian pada topik ini semakin berkembang secara intensif dalam dua dekade terakhir.

Penulis Paling Produktif

Distribusi penulis paling produktif menunjukkan adanya konsentrasi kontribusi pada sejumlah peneliti utama dalam bidang penelitian kafein dan genetika kopi (Tabel 1). Pola ini mengindikasikan bahwa pengembangan keilmuan pada topik ini didorong oleh kelompok peneliti yang relatif terbatas namun memiliki produktivitas tinggi. Cornelis, M.C. tercatat sebagai penulis dengan jumlah publikasi tertinggi, yaitu sebanyak 20 artikel (1,09%), diikuti oleh Mazzafera, P. dengan 18 publikasi (0,98%). Penulis lain seperti Ashihara, H., Baumann, T.W., Hamon, S., dan Tamura, H. juga menunjukkan kontribusi yang cukup signifikan

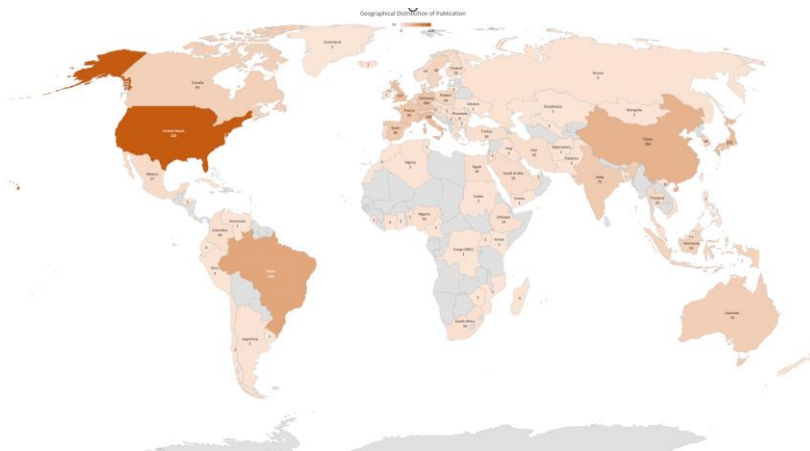
dalam pengembangan penelitian terkait biosintesis kafein dan genetika kopi.

Tabel 1. Sepuluh penulis paling produktif

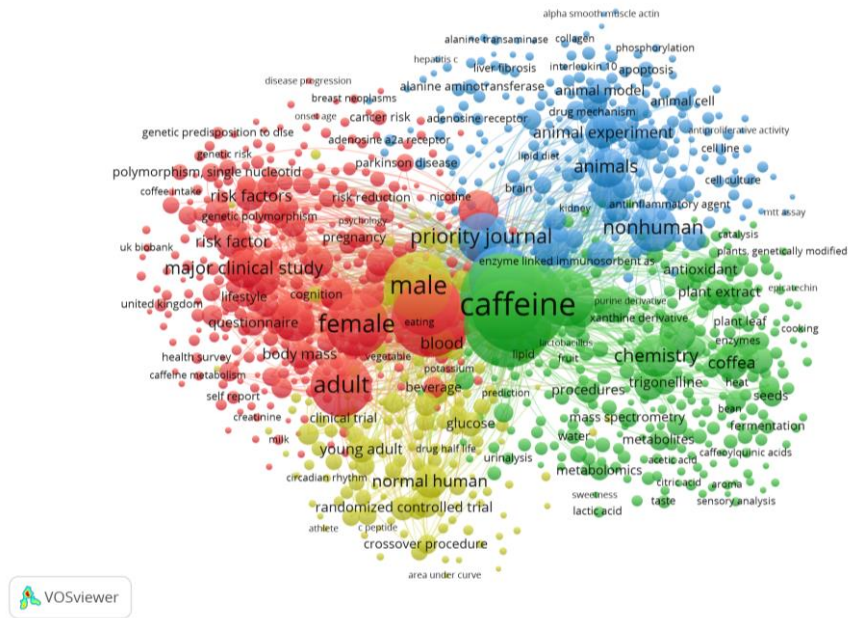
Nama Penulis	Jumlah Publikasi	%
Cornelis, M.C.	20	1,09
Mazzafera, P.	18	0,98
Ashihara, H.	13	0,71
Baumann, T.W.	11	0,60
Hamon, S.	11	0,60
Tamura, H.	11	0,60
Crozier, A.	10	0,55
Noirot, M.	10	0,55
Rakocevic, M.	10	0,55
Campa, C.	9	0,49

Negara Paling Produktif

Distribusi geografis publikasi menunjukkan adanya dominasi negara tertentu dalam penelitian genetika biosintesis kafein pada *C. canephora* (Gambar 3). Pola ini mencerminkan perbedaan kapasitas penelitian dan keterlibatan negara dalam pengembangan ilmu terkait kopi.



Gambar 3. Distribusi geografis publikasi.

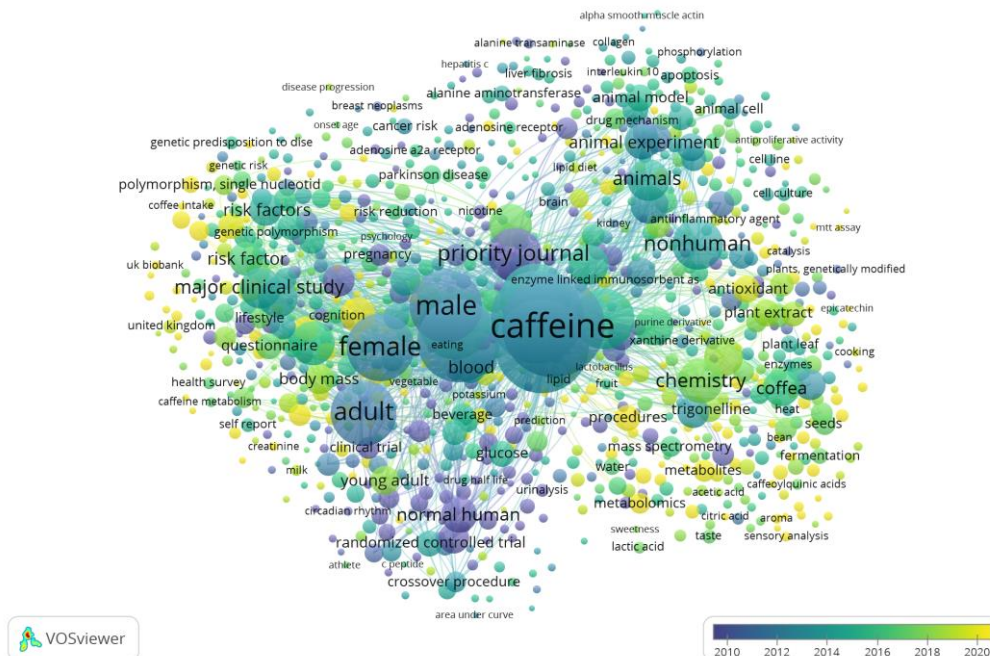


Gambar 6. Jejaring *Co-occurrence* Kata Kunci.

Visualisasi *Overlay Co-occurrence*

Analisis *overlay co-occurrence* menunjukkan adanya dinamika perkembangan tema penelitian terkait kafein dari waktu ke waktu (Gambar 7). Perubahan ini menggambarkan pergeseran fokus penelitian menuju pendekatan

yang lebih kompleks dan mutakhir. Berdasarkan Gambar 7, topik awal didominasi oleh kajian metabolisme dan nutrisi, sedangkan topik yang lebih baru berkembang ke arah analisis senyawa bioaktif, metabolomik, dan interaksi kimia dalam tanaman. Pergeseran ini terlihat dari perbedaan gradasi warna pada peta visualisasi.



Gambar 7. Visualisasi *overlay co-occurrence*.

Pembahasan

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa penelitian mengenai kafein berkembang pesat dan didominasi oleh pendekatan multidisipliner, dengan tren publikasi yang meningkat, kontribusi penulis dan negara yang terkonsentrasi, serta jaringan kolaborasi global yang kuat. Namun demikian, pemetaan kata kunci dan pola sitasi mengindikasikan bahwa fokus penelitian masih banyak diarahkan pada aspek nutrisi, kesehatan, dan kimia senyawa bioaktif, sementara dimensi genetika biosintesis kafein pada *C. canephora* belum menjadi pusat perhatian utama. Temuan ini menegaskan adanya ketidakseimbangan antara perkembangan kuantitas penelitian dan kedalaman eksplorasi aspek molekuler, khususnya pada regulasi genetik jalur biosintesis kafein.

Tren Publikasi Tahunan

Tren publikasi tahunan menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan terutama sejak awal tahun 2000-an hingga mencapai puncaknya pada periode setelah tahun 2015. Pola ini mencerminkan meningkatnya perhatian ilmiah terhadap kafein sebagai senyawa bioaktif yang memiliki berbagai implikasi biologis, baik pada tanaman maupun pada kesehatan manusia. Perkembangan teknologi biologi molekuler, genomika, serta metabolomik juga turut mendorong meningkatnya jumlah penelitian yang berkaitan dengan biosintesis dan metabolisme kafein (Gong *et al.*, 2020; Low *et al.*, 2024).

Peningkatan publikasi juga dapat dikaitkan dengan semakin luasnya kajian mengenai metabolit sekunder pada tanaman. Dalam beberapa dekade terakhir, metabolit sekunder tidak lagi hanya dipandang sebagai senyawa hasil samping metabolisme tanaman, tetapi juga sebagai komponen penting yang berperan dalam interaksi ekologis, mekanisme pertahanan tanaman, serta kualitas produk pertanian (Bhatla & Lal, 2023). Dalam konteks tanaman kopi, kafein menjadi salah satu metabolit sekunder yang paling banyak diteliti karena berpengaruh terhadap karakteristik sensori serta nilai ekonomi kopi (Ahmed *et al.*, 2021).

Selain itu, meningkatnya minat penelitian terhadap kafein juga berkaitan dengan perkembangan studi nutrisi dan kesehatan manusia. Berbagai penelitian telah mengeksplorasi hubungan konsumsi kafein dengan berbagai kondisi kesehatan, termasuk metabolisme energi, fungsi kognitif, serta risiko

penyakit tertentu (Dong *et al.*, 2020; Irwin *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2025). Hal ini menyebabkan kajian mengenai kafein tidak hanya berkembang dalam bidang ilmu tanaman, tetapi juga meluas ke bidang nutrisi, farmakologi, dan ilmu kesehatan masyarakat (Faudone *et al.*, 2021; Sharma *et al.*, 2023; Alimyar *et al.*, 2024).

Peningkatan tren publikasi yang signifikan menunjukkan bahwa kafein telah menjadi salah satu topik penting dalam penelitian tanaman dan kesehatan. Temuan ini sejalan dengan perkembangan kajian metabolit sekunder yang semakin menjadi fokus dalam fisiologi dan biokimia tanaman modern (Bhatla & Lal, 2023), serta meningkatnya minat terhadap senyawa bioaktif dalam konteks nutrisi dan kesehatan manusia (Dong *et al.*, 2020; Irwin *et al.*, 2020). Namun demikian, sebagian besar penelitian masih bersifat umum dan belum secara spesifik mengarah pada eksplorasi genetika biosintesis kafein.

Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah publikasi belum sepenuhnya diikuti oleh penguatan kajian pada tingkat molekuler. Dengan demikian, tren yang meningkat ini tidak hanya mencerminkan pertumbuhan penelitian, tetapi juga mengindikasikan peluang untuk mengarahkan studi ke pendekatan genetika yang lebih spesifik dan mendalam.

Penulis Paling Produktif

Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa penulis memiliki kontribusi yang cukup dominan dalam penelitian yang berkaitan dengan kafein dan metabolisme senyawa tersebut. Keberadaan penulis yang produktif dalam suatu bidang penelitian sering kali mencerminkan adanya kelompok riset atau jaringan penelitian yang aktif dan berkelanjutan (Lozano *et al.*, 2019). Dalam banyak kasus, penulis yang produktif biasanya berasal dari institusi yang memiliki fasilitas penelitian yang kuat di bidang biokimia, nutrisi, atau ilmu tanaman (Marks *et al.*, 2023).

Produktivitas penulis juga sering kali berkaitan dengan fokus penelitian yang spesifik dan konsisten dalam jangka waktu yang panjang. Peneliti yang secara konsisten meneliti kafein, metabolisme purin, atau metabolit sekunder pada tanaman cenderung menghasilkan publikasi yang lebih banyak dibandingkan dengan peneliti yang hanya sesekali terlibat dalam topik tersebut (Dixon & Dickinson, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan penelitian dalam suatu

bidang sering kali dipengaruhi oleh keberadaan kelompok peneliti yang secara aktif mengembangkan topik tertentu (Hehenberger *et al.*, 2019).

Selain itu, kolaborasi internasional juga dapat meningkatkan produktivitas publikasi (Mitrović *et al.*, 2023). Banyak penelitian mengenai kafein melibatkan kolaborasi antara peneliti dari berbagai disiplin ilmu, seperti biologi molekuler, kimia pangan, nutrisi, dan ilmu Kesehatan (Song *et al.*, 2024). Kolaborasi multidisiplin ini memungkinkan pendekatan penelitian yang lebih komprehensif dalam memahami peran kafein baik pada tanaman maupun pada manusia (Ialongo *et al.*, 2023).

Dominasi sejumlah penulis dalam penelitian kafein mencerminkan adanya kelompok riset yang aktif dan berkelanjutan dalam bidang ini. Fenomena ini umum terjadi dalam perkembangan ilmu pengetahuan, di mana produktivitas tinggi sering berkaitan dengan konsistensi fokus penelitian dan dukungan infrastruktur yang memadai (Lozano *et al.*, 2019; Marks *et al.*, 2023). Selain itu, keterlibatan peneliti dari berbagai disiplin menunjukkan bahwa kajian kafein berkembang dalam kerangka multidisipliner.

Namun, sebagian besar kontribusi penulis tersebut lebih banyak berfokus pada aspek metabolisme, nutrisi, dan kesehatan, bukan pada genetika biosintesis kafein secara spesifik. Hal ini mengindikasikan bahwa peran ilmuwan dalam bidang genetika tanaman kopi masih relatif terbatas, sehingga diperlukan penguatan kontribusi pada aspek molekuler untuk menyeimbangkan arah penelitian.

Negara Paling Produktif

Distribusi publikasi berdasarkan negara menunjukkan bahwa beberapa negara memiliki kontribusi yang lebih besar dalam penelitian mengenai kafein. Negara-negara dengan infrastruktur penelitian yang kuat, seperti Amerika Serikat dan negara-negara di Eropa, cenderung menghasilkan jumlah publikasi yang lebih tinggi. Hal ini berkaitan dengan ketersediaan sumber daya penelitian, fasilitas laboratorium yang memadai, serta dukungan pendanaan yang besar untuk penelitian ilmiah (Link & Scott, 2021).

Selain faktor kapasitas penelitian, kontribusi negara juga dapat dipengaruhi oleh kepentingan ekonomi terhadap komoditas kopi. Negara-negara produsen kopi seperti Brasil dan beberapa negara di kawasan tropis memiliki

motivasi yang kuat untuk mengembangkan penelitian yang berkaitan dengan tanaman kopi, termasuk studi mengenai metabolisme kafein dan kualitas biji kopi (Harvey *et al.*, 2021). Penelitian tersebut penting untuk mendukung pengembangan varietas unggul serta meningkatkan nilai tambah produk kopi.

Di sisi lain, beberapa negara yang bukan produsen kopi utama juga memiliki kontribusi yang signifikan dalam penelitian ini. Hal ini menunjukkan bahwa kajian mengenai kafein tidak hanya terbatas pada aspek agronomi atau budidaya tanaman kopi, tetapi juga berkaitan dengan bidang nutrisi, farmakologi, dan kesehatan manusia (Barrea *et al.*, 2023). Oleh karena itu, penelitian mengenai kafein berkembang sebagai bidang multidisipliner yang melibatkan berbagai negara dengan latar belakang kepentingan penelitian yang berbeda.

Dominasi negara-negara tertentu dalam publikasi menunjukkan adanya kesenjangan kapasitas penelitian global. Temuan ini sejalan dengan studi yang menyatakan bahwa negara dengan infrastruktur penelitian yang kuat cenderung menghasilkan publikasi lebih tinggi (Link & Scott, 2021). Selain itu, keterlibatan negara produsen kopi seperti Brasil dan Indonesia menunjukkan adanya hubungan antara kepentingan ekonomi dan aktivitas penelitian (Harvey *et al.*, 2021).

Meskipun demikian, kontribusi negara produsen belum sepenuhnya optimal dalam mengembangkan penelitian berbasis genetika. Hal ini menunjukkan adanya peluang untuk memperkuat kapasitas riset lokal, khususnya dalam mengembangkan pendekatan genomika dan bioteknologi untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas kopi.

Jaringan Kolaborasi Penelitian Antarnegara

Jaringan kolaborasi antarnegara menunjukkan bahwa penelitian mengenai kafein melibatkan kerja sama ilmiah yang luas antara berbagai negara. Kolaborasi internasional menjadi semakin penting dalam penelitian modern karena memungkinkan pertukaran pengetahuan, teknologi, serta sumber daya penelitian. Dalam konteks penelitian mengenai kafein, kolaborasi ini sering melibatkan peneliti dari bidang biologi molekuler, kimia pangan, nutrisi, dan ilmu kesehatan (Rodrigues *et al.*, 2023).

Negara-negara dengan kapasitas penelitian yang tinggi sering berperan sebagai pusat kolaborasi dalam jaringan penelitian

internasional. Peran ini biasanya ditunjukkan oleh banyaknya hubungan kolaborasi dengan negara lain serta jumlah publikasi bersama yang dihasilkan. Kolaborasi semacam ini dapat mempercepat perkembangan ilmu pengetahuan karena memungkinkan integrasi berbagai pendekatan penelitian yang berbeda (Beck *et al.*, 2020).

Selain itu, kolaborasi internasional juga penting dalam penelitian yang berkaitan dengan komoditas pertanian global seperti kopi. Tanaman kopi dibudidayakan di berbagai negara tropis, sehingga penelitian mengenai sifat biologis, metabolisme, dan kualitas biji kopi sering kali memerlukan kerja sama antara negara produsen dan negara yang memiliki fasilitas penelitian maju. Kolaborasi ini memungkinkan penelitian yang lebih komprehensif mengenai aspek genetik dan metabolisme tanaman kopi (Lachica *et al.*, 2025).

Jaringan kolaborasi yang luas menunjukkan bahwa penelitian kafein berkembang melalui kerja sama internasional yang intensif. Temuan ini mendukung pandangan bahwa kolaborasi global menjadi faktor penting dalam percepatan perkembangan ilmu pengetahuan (Beck *et al.*, 2020). Kolaborasi ini memungkinkan integrasi berbagai pendekatan ilmiah dari disiplin yang berbeda.

Namun, pola kolaborasi yang terbentuk masih didominasi oleh negara dengan kapasitas penelitian tinggi, sementara negara berkembang memiliki peran yang lebih terbatas. Hal ini menunjukkan perlunya peningkatan kolaborasi yang lebih inklusif untuk mendorong transfer pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam penelitian genetika tanaman kopi.

Co-citation berdasarkan Sumber Jurnal

Analisis *co-citation* berdasarkan sumber jurnal menunjukkan bahwa beberapa jurnal ilmiah memiliki peran penting sebagai sumber rujukan utama dalam penelitian mengenai kafein (Gutiérrez-Hellín *et al.*, 2023). Jurnal-jurnal tersebut umumnya berasal dari bidang nutrisi, kimia pangan, biokimia, dan ilmu kesehatan. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian mengenai kafein bersifat multidisipliner dan melibatkan berbagai bidang ilmu yang saling berkaitan.

Keberadaan jurnal dengan tingkat *co-citation* yang tinggi menunjukkan bahwa jurnal tersebut memiliki pengaruh besar dalam membentuk arah perkembangan penelitian (Chen *et al.*, 2024). Artikel-artikel yang diterbitkan dalam jurnal tersebut sering dijadikan rujukan

oleh peneliti lain karena dianggap memiliki kontribusi ilmiah yang signifikan. Dengan demikian, jurnal-jurnal tersebut dapat dipandang sebagai pusat penyebaran pengetahuan dalam bidang penelitian terkait kafein.

Selain itu, keterkaitan antara jurnal dari berbagai disiplin ilmu menunjukkan bahwa kajian mengenai kafein tidak hanya terbatas pada aspek kimia atau biologi tanaman, tetapi juga meluas ke bidang nutrisi dan kesehatan manusia (Korekar, 2019). Integrasi berbagai bidang ilmu ini memperkaya pemahaman mengenai peran kafein dalam sistem biologis serta implikasinya terhadap kesehatan dan kualitas pangan.

Dominasi jurnal dari bidang nutrisi, kesehatan, dan kimia pangan menunjukkan bahwa penelitian kafein lebih banyak diposisikan dalam konteks kesehatan manusia. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa kafein merupakan senyawa bioaktif yang banyak dikaji dalam bidang nutrisi dan farmakologi (Faudone *et al.*, 2021; Sharma *et al.*, 2023; Barrea *et al.*, 2023).

Namun demikian, keterlibatan jurnal yang berfokus pada genetika tanaman masih relatif terbatas. Hal ini menunjukkan bahwa kajian mengenai biosintesis kafein belum sepenuhnya terintegrasi dalam kerangka genetika dan biologi molekuler tanaman, sehingga diperlukan penguatan arah penelitian pada bidang tersebut.

Co-occurrence Kata Kunci

Analisis *co-occurrence* kata kunci memberikan gambaran mengenai keterkaitan antar topik penelitian yang berkembang dalam publikasi yang dianalisis (Narong & Hallinger, 2023). Hasil pemetaan menggunakan VOSviewer menunjukkan bahwa kata kunci yang muncul membentuk empat kluster utama yang merepresentasikan fokus penelitian yang berbeda dalam kajian mengenai kafein.

Kluster 1: Penelitian Klinis dan Epidemiologi (merah)

Kluster pertama didominasi oleh kata kunci yang berkaitan dengan penelitian klinis dan epidemiologi pada manusia, seperti *risk factors*, *major clinical study*, *polymorphism single nucleotide*, *genetic polymorphism*, *lifestyle*, dan *body mass*. Keberadaan kata kunci tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian mengenai kafein berkaitan dengan kajian kesehatan manusia, khususnya yang berhubungan dengan faktor risiko penyakit dan variasi genetik dalam populasi.

Penelitian dalam klaster ini banyak memanfaatkan pendekatan epidemiologi untuk memahami hubungan antara konsumsi kafein dengan berbagai kondisi kesehatan. Kajian tersebut sering melibatkan analisis faktor gaya hidup, pola konsumsi makanan, serta variasi genetik individu yang dapat memengaruhi metabolisme kafein. Dengan demikian, klaster ini mencerminkan berkembangnya penelitian yang menempatkan kafein sebagai salah satu faktor yang dikaji dalam konteks kesehatan masyarakat.

Klaster 2: Kimia dan Metabolit Tanaman (hijau)

Klaster kedua berkaitan dengan aspek kimia dan metabolit tanaman, yang ditunjukkan oleh kata kunci seperti *chemistry, coffea, plant extract, metabolites, mass spectrometry*, dan *antioxidant*. Fokus penelitian dalam klaster ini umumnya berkaitan dengan karakterisasi senyawa bioaktif yang terdapat pada tanaman kopi, termasuk kafein dan senyawa metabolit lainnya.

Kajian kimia tanaman menjadi penting untuk memahami komposisi metabolit sekunder yang berkontribusi terhadap kualitas biji kopi dan karakteristik produk kopi. Penelitian dalam klaster ini sering menggunakan teknik analisis kimia modern seperti kromatografi dan spektrometri massa untuk mengidentifikasi serta mengukur kandungan senyawa bioaktif. Selain itu, penelitian mengenai metabolit tanaman juga berkaitan dengan potensi pemanfaatan senyawa bioaktif dalam bidang pangan fungsional dan nutrasetikal.

Klaster 3: Penelitian Eksperimental pada Hewan (biru)

Klaster ketiga didominasi oleh kata kunci yang berkaitan dengan penelitian eksperimental menggunakan model hewan, seperti *animals, animal experiment, nonhuman, animal model*, dan *cell culture*. Penelitian dalam klaster ini umumnya bertujuan untuk memahami mekanisme biologis dan fisiologis dari berbagai senyawa bioaktif, termasuk kafein.

Model hewan sering digunakan dalam penelitian farmakologi dan biomedis untuk mengevaluasi efek biologis suatu senyawa dalam sistem organisme yang kompleks. Melalui pendekatan eksperimental ini, peneliti dapat mempelajari berbagai mekanisme biologis seperti efek kafein terhadap sistem saraf, metabolisme energi, maupun respons inflamasi. Hasil penelitian pada model hewan sering menjadi dasar bagi pengembangan penelitian lebih lanjut pada manusia.

Klaster 4: Studi Nutrisi dan Uji Klinis Manusia (kuning)

Klaster keempat berkaitan dengan penelitian nutrisi dan uji klinis yang melibatkan partisipasi manusia, yang ditunjukkan oleh kata kunci seperti *normal human, young adult, randomized controlled trial*, dan *clinical trial*. Penelitian dalam klaster ini umumnya berfokus pada evaluasi efek konsumsi kafein atau produk yang mengandung kafein terhadap parameter fisiologis pada manusia.

Pendekatan penelitian dalam klaster ini sering menggunakan desain eksperimen seperti uji klinis terkontrol atau studi intervensi nutrisi. Penelitian tersebut bertujuan untuk memahami dampak konsumsi kafein terhadap berbagai aspek kesehatan, seperti metabolisme energi, performa fisik, fungsi kognitif, serta respons metabolik tubuh. Dengan demikian, klaster ini menunjukkan bahwa kajian mengenai kafein tidak hanya berkembang pada tingkat molekuler atau kimia, tetapi juga pada tingkat aplikasi dalam bidang nutrisi dan kesehatan manusia.

Struktur kata kunci yang terbentuk menunjukkan bahwa penelitian kafein mencakup berbagai bidang yang saling terhubung. Temuan ini menguatkan bahwa kajian kafein bersifat multidisipliner dan melibatkan berbagai pendekatan ilmiah (Narong & Hallinger, 2023).

Namun, dominasi kata kunci yang berkaitan dengan kesehatan dan metabolisme menunjukkan bahwa aspek genetika belum menjadi fokus utama dalam penelitian ini. Hal ini menegaskan adanya kesenjangan antara potensi kajian genetika biosintesis kafein dan realisasi penelitian yang masih berorientasi pada aspek umum.

Visualisasi *Overlay Co-occurrence*

Visualisasi *overlay co-occurrence* memberikan gambaran mengenai perkembangan temporal tema penelitian yang berkaitan dengan kafein. Dalam peta visualisasi tersebut, warna yang lebih gelap umumnya menunjukkan topik penelitian yang muncul pada periode lebih awal, sedangkan warna yang lebih terang menunjukkan tema yang lebih baru berkembang. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi perubahan fokus penelitian dari waktu ke waktu.

Hasil visualisasi menunjukkan bahwa penelitian awal mengenai kafein lebih banyak berfokus pada aspek metabolisme, nutrisi, dan faktor kesehatan. Seiring dengan perkembangan teknologi analisis kimia dan biologi molekuler, penelitian mengenai kafein mulai berkembang ke

arah kajian yang lebih kompleks, termasuk metabolomik, analisis senyawa bioaktif, serta interaksi kimia dalam tanaman.

Perkembangan ini menunjukkan bahwa penelitian mengenai kafein terus mengalami diversifikasi topik dan pendekatan metodologis. Selain kajian mengenai efek fisiologis kafein pada manusia, penelitian juga semakin banyak mengeksplorasi aspek kimia, metabolisme tanaman, serta potensi senyawa bioaktif dalam berbagai bidang ilmu. Dengan demikian, kajian mengenai kafein diperkirakan akan terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dan meningkatnya minat terhadap senyawa bioaktif dalam pangan dan tanaman.

Perubahan temporal dalam tema penelitian menunjukkan adanya evolusi fokus kajian dari pendekatan dasar menuju pendekatan yang lebih kompleks dan berbasis teknologi. Temuan ini sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan yang semakin mengarah pada integrasi teknologi molekuler dalam studi biologi (Lachica *et al.*, 2025).

Meskipun demikian, perkembangan tersebut belum sepenuhnya mengarah pada eksplorasi genetika biosintesis kafein secara spesifik. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun penelitian semakin maju, masih terdapat ruang untuk mengembangkan kajian yang lebih terfokus pada regulasi genetik dan mekanisme molekuler pada tanaman kopi.

Implikasi dan Arah Perkembangan Penelitian

Hasil analisis bibliometrik menunjukkan bahwa penelitian mengenai kafein berkembang sebagai bidang kajian yang bersifat multidisipliner. Kajian tentang kafein tidak hanya dilakukan dalam konteks biologi tanaman dan metabolisme sekunder, tetapi juga mencakup bidang kimia pangan, nutrisi, farmakologi, serta kesehatan manusia. Hal ini tercermin dari keberagaman kluster kata kunci yang terbentuk, jaringan kolaborasi antarnegara, serta keterkaitan berbagai jurnal dari disiplin ilmu yang berbeda dalam analisis *co-citation*. Dengan demikian, penelitian mengenai kafein memperlihatkan dinamika perkembangan ilmu yang melibatkan berbagai pendekatan dan perspektif ilmiah.

Peningkatan jumlah publikasi dari waktu ke waktu juga menunjukkan bahwa perhatian ilmiah terhadap kafein terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi penelitian. Perkembangan metode analisis kimia, biologi molekuler, serta pendekatan genomika dan metabolomik memungkinkan peneliti untuk

memahami mekanisme biosintesis dan fungsi biologis kafein secara lebih mendalam. Selain itu, meningkatnya kolaborasi internasional menunjukkan bahwa penelitian mengenai kafein semakin terintegrasi dalam jaringan penelitian global yang melibatkan berbagai institusi dan disiplin ilmu.

Dalam konteks tanaman kopi, pemahaman mengenai kafein memiliki arti penting tidak hanya dari perspektif kesehatan manusia, tetapi juga dari sudut pandang agronomi dan kualitas produk kopi. Kafein merupakan salah satu metabolit sekunder utama yang memengaruhi karakteristik sensori kopi serta berperan dalam mekanisme pertahanan tanaman terhadap tekanan lingkungan. Oleh karena itu, penelitian mengenai biosintesis kafein pada *C. canephora* memiliki potensi untuk mendukung pengembangan varietas kopi dengan karakteristik kimia dan kualitas yang lebih baik. Integrasi antara penelitian genetika, kimia tanaman, dan teknologi budidaya diharapkan dapat memberikan kontribusi yang lebih luas bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta peningkatan nilai ekonomi komoditas kopi.

Temuan penelitian ini memiliki implikasi penting dalam pengembangan riset genetika kopi, khususnya dalam memahami peran gen dalam biosintesis kafein. Identifikasi kesenjangan penelitian menunjukkan bahwa pendekatan genomika, transcriptomika, dan metabolomika perlu lebih diintegrasikan untuk mengungkap regulasi genetik secara komprehensif. Hal ini dapat mendukung pengembangan varietas kopi dengan karakteristik kafein yang lebih terkontrol sesuai kebutuhan industri.

Selain itu, dalam konteks industri kopi, pemahaman mengenai biosintesis kafein dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas produk, baik dari segi cita rasa maupun kandungan senyawa bioaktif. Pendekatan berbasis genetika juga berpotensi mendukung inovasi dalam pemuliaan tanaman kopi yang lebih adaptif dan bernilai ekonomi tinggi. Dengan demikian, integrasi antara penelitian genetika dan kebutuhan industri menjadi langkah strategis dalam meningkatkan daya saing komoditas kopi di tingkat global.

Kesimpulan

Analisis bibliometrik menunjukkan bahwa penelitian mengenai kafein berkembang secara luas dan melibatkan berbagai disiplin ilmu, tercermin dari peningkatan tren publikasi,

kontribusi peneliti dari berbagai negara, serta terbentuknya jaringan kolaborasi internasional. Pemetaan kata kunci juga menunjukkan bahwa kajian mengenai kafein mencakup berbagai fokus penelitian, mulai dari aspek kimia tanaman dan metabolit sekunder hingga penelitian eksperimental dan studi klinis pada manusia. Dalam konteks tanaman kopi, pemahaman mengenai biosintesis kafein pada *C. canephora* menjadi penting untuk mendukung pengembangan penelitian genetika tanaman serta meningkatkan pemanfaatan ilmu pengetahuan dalam pengembangan kualitas dan nilai ekonomi komoditas kopi.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada Program Studi Budidaya Tanaman Perkebunan, Politeknik Negeri Lampung, Bandar Lampung, yang telah memfasilitas penulis, sehingga artikel ini dapat diselesaikan dengan baik.

Referensi

- Ahmed, S., Brinkley, S., Smith, E., Sela, A., Theisen, M., Thibodeau, C., ... & Cash, S. B. (2021). Climate change and coffee quality: systematic review on the effects of environmental and management variation on secondary metabolites and sensory attributes of *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. *Frontiers in plant science*, 12, 708013.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.708013>
- Alimyar, O., Nahiz, A., Monib, A. W., Baseer, A. Q., Hassand, M. H., Kakar, U. M., ... & Niazi, P. (2024). *Coffea* plant (caffeine): examining its impact on physical and mental health. *European Journal of Medical and Health Research*, 2(2), 143-154.
[https://doi.org/10.59324/ejmhr.2024.2\(2\).16](https://doi.org/10.59324/ejmhr.2024.2(2).16)
- Ashardiono, F., & Trihartono, A. (2024). Optimizing the potential of Indonesian coffee: a dual market approach. *Cogent Social Sciences*, 10(1), 2340206.
<https://doi.org/10.1080/23311886.2024.2340206>
- Ashawat, M., & Ashawat, M. S. (2025). The Global Grind: Past Trends and Future Brews of the Coffee Culture. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814721-4.00001-9>
- Barrea, L., Pugliese, G., Frias-Toral, E., El Ghoch, M., Castellucci, B., Chapela, S. P., ... & Muscogiuri, G. (2023). Coffee consumption, health benefits and side effects: a narrative review and update for dietitians and nutritionists. *Critical reviews in food science and nutrition*, 63(9), 1238-1261.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1963207>
- Beck, S., Bergenholtz, C., Bogers, M., Brasseur, T. M., Conradsen, M. L., Di Marco, D., ... & Xu, S. M. (2022). The Open Innovation in Science research field: a collaborative conceptualisation approach. *Industry and Innovation*, 29(2), 136-185.
<https://doi.org/10.1080/13662716.2020.1792274>
- Bhatla, S. C., & Lal, M. A. (2023). Secondary metabolites. In *Plant physiology, development and metabolism* (pp. 765-808). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5736-1_33
- Chen, X., Mao, J., & Li, G. (2024). A co-citation approach to the analysis on the interaction between scientific and technological knowledge. *Journal of Informetrics*, 18(3), 101548.
<https://doi.org/10.1016/j.joi.2024.101548>
- Davis, A. P., Mieulet, D., Moat, J., Sarmu, D., & Haggart, J. (2021). Arabica-like flavour in a heat-tolerant wild coffee species. *Nature Plants*, 7(4), 413-418.
<https://doi.org/10.1038/s41477-021-00891-4>
- Divekar, P. A., Narayana, S., Divekar, B. A., Kumar, R., Gadratagi, B. G., Ray, A., ... & Behera, T. K. (2022). Plant secondary metabolites as defense tools against herbivores for sustainable crop protection. *International journal of molecular sciences*, 23(5), 2690.
<https://doi.org/10.3390/ijms23052690>
- Dixon, R. A., & Dickinson, A. J. (2024). A century of studying plant secondary metabolism—From “what?” to “where, how, and why?”. *Plant Physiology*, 195(1), 48-66.
<https://doi.org/10.1093/plphys/kiad596>

- Dong, X., Li, S., Sun, J., Li, Y., & Zhang, D. (2020). Association of Coffee, decaffeinated coffee and caffeine intake from coffee with cognitive performance in older adults: National Health and nutrition examination survey (NHANES) 2011–2014. *Nutrients*, 12(3), 840. <https://doi.org/10.3390/nu12030840>
- Eka, L., Ngatinem, N., Rahayuningtyas, A., & Ulum, B. (2025). Determination of Caffeine Content at the Difference in Arabica and Robusta Coffee Roast Levels Using HPLC. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 158, p. 04011). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202515804011>
- Faudone, G., Arifi, S., & Merk, D. (2021). The medicinal chemistry of caffeine. *Journal of Medicinal Chemistry*, 64(11), 7156–7178. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.1c00261>
- Ferrão, M. A. G., Riva-Souza, E. M., Azevedo, C., ... & Ferrão, L. F. V. (2024). Robust and smart: Inference on phenotypic plasticity of *Coffea canephora* reveals adaptation to alternative environments. *Crop Science*, 64(5), 2709–2724. <https://doi.org/10.1002/csc2.21298>
- Fischer, E. F. (2021). Quality and inequality: creating value worlds with Third Wave coffee. *Socio-Economic Review*, 19(1), 111–131. <https://doi.org/10.1093/ser/mwz044>
- Gan, Y. N., Li, D. D., Robinson, N., & Liu, J. P. (2022). Practical guidance on bibliometric analysis and mapping knowledge domains methodology—A summary. *European Journal of Integrative Medicine*, 56, 102203. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2022.102203>
- Gong, A. D., Lian, S. B., Wu, N. N., Zhou, Y. J., Zhao, S. Q., Zhang, L. M., ... & Yuan, H. Y. (2020). Integrated transcriptomics and metabolomics analysis of catechins, caffeine and theanine biosynthesis in tea plant (*Camellia sinensis*) over the course of seasons. *BMC Plant Biology*, 20(1), 294. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02443-y>
- Gutiérrez-Hellín, J., Del Coso, J., Espada, M. C., Hernández-Beltrán, V., Ferreira, C. C., Varillas-Delgado, D., ... & Gamonales, J. M. (2023). Research trends in the effect of caffeine intake on fat oxidation: a bibliometric and visual analysis. *Nutrients*, 15(20), 4320. <https://doi.org/10.3390/nu15204320>
- Harvey, C. A., Pritts, A. A., Zwetsloot, M. J., Jansen, K., Pulleman, M. M., Armbrrecht, I., ... & Valencia, V. (2021). Transformation of coffee-growing landscapes across Latin America. A review: 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>
- Hehenberger, L., Mair, J., & Metz, A. (2019). The assembly of a field ideology: An idea-centric perspective on systemic power in impact investing. *Academy of Management Journal*, 62(6), 1672–1704. <https://doi.org/10.5465/amj.2017.1402>
- Ialongo, D., Tudino, V., Arpacioğlu, M., Messori, A., Patacchini, E., Costi, R., ... & Madia, V. N. (2023). Synergistic effects of caffeine in combination with conventional drugs: perspectives of a drug that never ages. *Pharmaceuticals*, 16(5), 730. <https://doi.org/10.3390/ph16050730>
- Irwin, C., Khalesi, S., Desbrow, B., & McCartney, D. (2020). Effects of acute caffeine consumption following sleep loss on cognitive, physical, occupational and driving performance: A systematic review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 108, 877–888. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.12.008>
- Jia, X., Luo, S., Ye, X., Liu, L., & Wen, W. (2024). Evolution of the biochemistry underpinning purine alkaloid metabolism in plants. *Philosophical Transactions B*, 379(1914), 20230366. <https://doi.org/10.1098/rstb.2023.0366>
- Korekar, G., Kumar, A., & Ugale, C. (2020). Occurrence, fate, persistence and remediation of caffeine: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(28), 34715–34733.

- <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06998-8>
- Lachica, M. K. E., Watanabe, M., Kanaya, S., Fernie, A. R., & Tohge, T. (2025). Prospects for functional genomics of genes involved in coffee-specialized metabolism through cross-species integrative omics. *Current Opinion in Plant Biology*, 85, 102729. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2025.102729>
- Lestari, S. W., Rustiati, E. L., Priyambodo, P., Wahyuningsih, S., Sandra, S., Winarno, W., ... & Permatasari, N. (2025). Amplifikasi Gen N-Methyltransferase Kopi Robusta di Perkebunan Kopi Rakyat Wiyono Lampung: Amplifikasi Gen N-Methyltransferase Kopi Robusta di Perkebunan Kopi Rakyat Wiyono Lampung. *Jurnal Biogenerasi*, 10(2), 1027-1032. <https://doi.org/10.30605/biogenerasi.v10i2.5544>
- Li, J., Yu, K., Bu, F., Li, P., & Hao, L. (2025). Exploring the impact of coffee consumption and caffeine intake on cognitive performance in older adults: a comprehensive analysis using NHANES data and gene correlation analysis. *Nutrition Journal*, 24(1), 102. <https://doi.org/10.1186/s12937-025-01173-x>
- Link, A. N., & Scott, J. T. (2021). Scientific publications at US federal research laboratories. *Scientometrics*, 126(3), 2227-2248. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03854-2>
- Low, J. J. L., Tan, B. J. W., Yi, L. X., Zhou, Z. D., & Tan, E. K. (2024). Genetic susceptibility to caffeine intake and metabolism: a systematic review. *Journal of translational medicine*, 22(1), 961. <https://doi.org/10.1186/s12967-024-05737-z>
- Lozano, S., Calzada-Infante, L., Adenso-Díaz, B., & García, S. (2019). Complex network analysis of keywords co-occurrence in the recent efficiency analysis literature. *Scientometrics*, 120(2), 609-629. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03132-w>
- Malyukova, L. S., Samarina, L. S., & Zagoskina, N. V. (2022). Genetic mechanisms of the biosynthesis of catechins, caffeine and L-theanine in the tea plant *Camellia sinensis* (L.) Kuntze. *Sel'skokhozyaistvennaya Biol*, 57, 882-896. [10.15389/agrobiol.2022.5.882eng](https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.5.882eng)
- Marks, R. A., Amézquita, E. J., Percival, S., Rougon-Cardoso, A., Chibici-Revneanu, C., Tebele, S. M., ... & VanBuren, R. (2023). A critical analysis of plant science literature reveals ongoing inequities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(10), e2217564120. <https://doi.org/10.1073/pnas.221756412>
- Mitrović, I., Mišić, M., & Protić, J. (2023). Exploring high scientific productivity in international co-authorship of a small developing country based on collaboration patterns. *Journal of big Data*, 10(1), 64. <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00744-1>
- Montis, A., Delporte, C., Noda, Y., Stoffelen, P., Stévigny, C., Hermans, C., ... & Souard, F. (2024). Targeted metabolomics and transcript profiling of methyltransferases in three coffee species. *Plant science*, 345, 112117. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2024.112117>
- Nadaf, S. A., Shivaprasad, P., Babou, C., Hariyappa, N., Chandrashekar, N., Kumari, P., ... & Kumar, M. S. (2024). Coffee (*Coffea* spp.). In *Soil Health Management for Plantation Crops: Recent Advances and New Paradigms* (pp. 337-389). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0092-9_9
- Narong, D. K., & Hallinger, P. (2023). A keyword co-occurrence analysis of research on service learning: Conceptual foci and emerging research trends. *Education sciences*, 13(4), 339. <https://doi.org/10.3390/educsci13040339>
- Rodrigues, R. C., Pereira, H. S., Senra, R. L., Ribon, A. D. O. B., & de Oliveira Mendes, T. A. (2023). Understanding the emerging potential of synthetic biology for food science: Achievements, applications and safety considerations. *Food Chemistry Advances*, 3, 100476. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.1004>

- 76
- Saguimpa, M. J. S., & Digal, L. N. (2024). Productivity and technical efficiency of Robusta coffee farms at varying elevation categories in Sultan Kudarat, Philippines: implications on sustainability. *Journal of Mountain Science*, 21(11), 3615-3629. <https://doi.org/10.1007/s11629-024-8746-1>
- Sandra, S., Rustiati, E. L., Wahyuningsih, S., Srihanto, E. A., Pratiwi, D. N., Febriansyah, M., ... & Permatasari, N. (2025). Uji Keberhasilan Amplifikasi Gen N-Methyltransferase pada Kopi Robusta di Perkebunan Kopi Rakyat Lembah Gunung Betung, Bogorejo, Lampung. *Jurnal Biogenerasi*, 10(2), 1021-1026. <https://doi.org/10.30605/biogenerasi.v10i2.5542>
- Saud, S., & Salamatullah, A. M. (2021). Relationship between the chemical composition and the biological functions of coffee. *Molecules*, 26(24), 7634. <https://doi.org/10.3390/molecules26247634>
- Šeremet, D., Fabečić, P., Vojvodić Cebin, A., Mandura Jarić, A., Pudić, R., & Komes, D. (2022). Antioxidant and sensory assessment of innovative coffee blends of reduced caffeine content. *Molecules*, 27(2), 448. <https://doi.org/10.3390/molecules27020448>
- Sharma, V. K., Sharma, A., Verma, K. K., Gaur, P. K., Kaushik, R., & Abdali, B. (2023). A comprehensive review on pharmacological potentials of caffeine. *Journal of Applied Pharmaceutical Sciences and Research*, 6(3), 16-26. doi:10.31069/japsr.v6i3.04.
- Song, X., Singh, M., Lee, K. E., Vinayagam, R., & Kang, S. G. (2024). Caffeine: a multifunctional efficacious molecule with diverse health implications and emerging delivery systems. *International journal of molecular sciences*, 25(22), 12003. <https://doi.org/10.3390/ijms252212003>
- Tampubolon, J., Ginting, A., Nainggolan, H. L., & Tarigan, J. R. (2023). Indonesian coffee development path: production and international trade. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 41(12), 316-328. <https://doi.org/10.9734/AJAEES/2023/v41i122335>
- Tania, C., & Hurdawaty, R. (2022). Perilaku konsumsi kopi sebagai budaya masyarakat di kedai kopi starbucks mal artha gading. *Jurnal Pendidikan Dan Perhotelan (JPP)*, 2(2), 1-10. <https://doi.org/10.21009/jppv2i2.01>
- Vargas-Hernández, J. G. (2020). Global trade of coffee and its economic effect in the value chain. *Review of Socio-Economic Perspectives*, 5(4), 51-64. DOI: 10.5772/intechopen.1012093
- Zhang, Y., Fu, J., Zhou, Q., Li, F., ... & Li, P. (2022). Metabolite profiling and transcriptome analysis revealed the conserved transcriptional regulation mechanism of caffeine biosynthesis in tea and coffee plants. *Journal of agricultural and food chemistry*, 70(10), 3239-3251. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06886>