

EKSPLORASI JARINGAN TUMBUHAN IPOMOEA BATATAS: KAJIAN BIBLIOMETRIK TERHADAP STRUKTUR, FUNGSI, DAN ARAH PENELITIAN TERKINI

Masfiah, Rinie Pratiwi Puspitawati

Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri
Surabaya, Surabaya, Jawa Timur

Email Korespondensi: riniepratiwi@unesa.ac.id

Abstract

Ipomoea batatas (sweet potato) is a globally important tuber crop with high economic, nutritional, and biotechnological value. Understanding the structure and function of plant tissues in this species plays a crucial role in increasing productivity, resilience to environmental stress, and developing biotechnological applications. This study aims to map global trends, knowledge structures, and current research directions on *Ipomoea batatas* plant tissues through bibliometric analysis. Data were obtained from the Scopus database for the period 2020–2025, resulting in 1,905 initial publications. After a screening process using inclusion and exclusion criteria according to PRISMA guidelines, 276 articles were identified as relevant and analyzed using VOSviewer software. The mapping results revealed five main clusters: (1) plastid dynamics and carbon allocation; (2) genetic regulation of pigment biosynthesis (anthocyanins and carotenoids); (3) root system architecture (RSA); (4) adaptation to abiotic and biotic stress; and (5) application of multi-omics technology and non-destructive phenotyping. The literature integration shows that *I. batatas* research has shifted from a classical anatomical approach to more integrative molecular and physiological studies. However, research gaps remain in linking tissue anatomy data with spatial transcriptomics and metabolomics analyses, as well as a lack of field validation in tissue physiology studies. This study provides a scientific basis and strategic direction for deepening *I. batatas* plant tissue research within the context of modern physiology and biotechnology.

Keywords:

Plant Anatomy,
Bibliometrics,
Biotechnology,
Ipomoea batatas,
Plant Tissue.

Pendahuluan

Tanaman ubi jalar (*Ipomoea batatas*) merupakan salah satu komoditas hortikultura penting yang memiliki sebaran luas di kawasan tropis dan subtropis serta menduduki peran strategis sebagai sumber karbohidrat, nutrisi, dan bahan lokal pangan maupun industri. Sebagai anggota famili *Convolvulaceae*, *Ipomoea batatas* dikenal tidak hanya melalui akarnya yang berkembang (*storage root*) tetapi juga melalui sistem jaringan tumbuhan lainnya termasuk jaringan akar, batang, dan daun yang mendukung proses pertumbuhan, diferensiasi, dan respons terhadap kondisi lingkungan (Bugis dkk., 2024). Pengkajian menyeluruh terhadap struktur dan fungsi jaringan tumbuhan ini menjadi sangat relevan dalam konteks peningkatan produktivitas, pemuliaan, serta pemahaman mekanisme fisiologi dan molekuler tanaman. Misalnya, studi mikropropagasi nodal *Ipomoea batatas* menunjukkan bahwa tingkat garam MS dan kondisi enkapsulasi mempengaruhi keberhasilan regenerasi jaringan dan tumbuhan secara keseluruhan (Tadda dkk., 2021). Di sisi lain, analisis metabolomik dan karakter morfologi tiap varietas

daun *Ipomoea batatas* mengungkap adanya variasi jaringan dan metabolit yang cukup signifikan antar varietas (Tan dkk., 2024).

Dalam beberapa dekade terakhir, literatur tentang *Ipomoea batatas* telah berkembang pesat meliputi kajian agronomi, fisiologi jaringan, bioteknologi serta aspek omik seperti genomik dan transcriptomik. Misalnya, tinjauan komprehensif oleh Meng dkk. (2024) menyoroti perkembangan penelitian omik terhadap toleransi biotik dan abiotik pada *Ipomoea batatas*. Namun demikian, ketika mempertimbangkan fokus spesifik pada jaringan tumbuhan (jaringan akar, batang, daun) dari sisi bibliometrik yaitu kajian kuantitatif terhadap literatur ilmiah, tren penelitian, kolaborasi, dan arah penelitian masa depan nampaknya belum tersedia studi yang secara sistematis mengintegrasikan aspek struktur dan fungsi jaringan dengan analisis bibliometrik. Dengan demikian terdapat celah dalam pemahaman holistik tentang bagaimana jaringan tumbuhan *Ipomoea batatas* telah diteliti, sebaran penelitian berdasarkan jaringan, dan di mana arah penelitian yang kurang tersentuh berada.

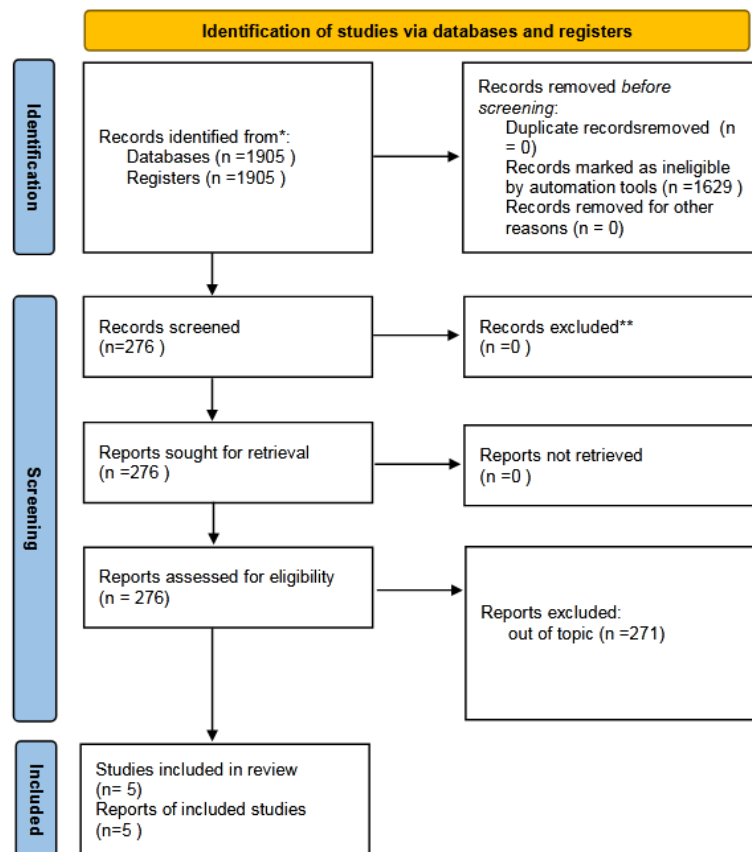
Kajian literatur menunjukkan bahwa meskipun telah ada penelitian yang mengungkap profil metabolit dan kultur jaringan, namun integrasi anatomi jaringan (seperti diferensiasi sel parenkim, vaskular, sklerenkim dalam umbi atau daun) dengan data fisiologis (misalnya transportasi asimilasi, penyimpanan karbohidrat, respons stres) masih sangat terbatas. Contoh: analisis kultur jaringan oleh Kirakosyan dkk. (2022) meneliti pengaruh PGR dan medium kultur terhadap proliferasi, namun bukan terhadap struktur anatomi jaringan hasil kultur. Sementara itu, review komprehensif mencatat bahwa area “unexplored” dalam bioteknologi *Ipomoea batatas* mencakup teknologi konservasi in vitro dan eksplorasi jaringan akar dan organ penyimpanan secara mendalam (Behera dkk., 2022).

Lebih jauh, belum tampak adanya penelitian bibliometrik yang secara spesifik memfokuskan pada jaringan tumbuhan *Ipomoea batatas* termasuk identifikasi penulis utama, negara kolaborasi, topik evolusi riset jaringan, serta arah penelitian yang berkembang ke masa depan (misalnya pencitraan jaringan, analisis sel tunggal, pemodelan jaringan fungsi). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun basis literatur semakin besar, namun pemetaan kuantitatif-tren belum dilaksanakan secara menyeluruh. Dengan demikian, riset ini akan mengisi gap tersebut dan memberikan kontribusi berupa peta riset jaringan tumbuhan *Ipomoea batatas* yang dapat menjadi acuan bagi peneliti berikutnya.

Berdasarkan hal-hal di atas, tujuan penelitian ini adalah: (1) melakukan analisis bibliometrik terhadap publikasi-ilmiah yang membahas jaringan tumbuhan *Ipomoea batatas* dari Tahun 2020 hingga 2025, (2) mengidentifikasi dan memetakan tema-utama dalam penelitian struktur dan fungsi jaringan tumbuhan *Ipomoea batatas*, (3) menelaah gap riset dan arah penelitian terkini serta masa depan dalam aspek jaringan tumbuhan *Ipomoea batatas*, khususnya struktur-fungsi-jaringan, dan (4) menyajikan rekomendasi strategis untuk penelitian selanjutnya di bidang biologi tumbuhan *Ipomoea batatas*.

Metode Penelitian

Proses pengumpulan data dalam penelitian ini dilaksanakan melalui tinjauan pustaka secara sistematis (*systematic literature review*). Untuk menjamin bahwa tahapan pencarian dan seleksi artikel dilakukan secara terbuka, terstruktur, serta dapat diulang kembali, penelitian ini mengacu pada protokol *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Pedoman PRISMA diterapkan guna menyeleksi ribuan publikasi hingga diperoleh kumpulan artikel yang paling relevan dan sesuai dengan kriteria inklusi yang telah ditentukan sebelumnya. Secara rinci, tahapan seleksi literatur yang meliputi proses identifikasi, penyaringan, hingga penentuan studi akhir yang dianalisis digambarkan melalui diagram alur yang disajikan berikut ini.



Gambar 1. PRISMA Jaringan Tumbuhan *Ipomoea batatas* pada Periode 2020-2025

Pada tahap identifikasi, sebanyak 1905 data diperoleh dari hasil pencarian pada berbagai basis data dan register ilmiah. Proses penyaringan awal dilakukan secara sistematis menggunakan beberapa kriteria seleksi, di antaranya topik dan tahun publikasi. Hanya artikel dengan topik *Agricultural* and *Biological Sciences* serta yang diterbitkan dalam rentang waktu tahun 2020 hingga 2025 yang dipertahankan untuk analisis lebih lanjut.

Setelah penerapan kriteria tersebut, sebanyak 1629 data dieliminasi secara otomatis karena tidak relevan dengan topik penelitian, berada di luar rentang tahun yang ditetapkan, atau merupakan duplikasi. Dengan demikian, tersisa 276 artikel yang masuk ke tahap *screening*.

Pada tahap *screening*, seluruh artikel yang tersisa ditelaah berdasarkan judul dan abstrak untuk memastikan kesesuaiannya dengan fokus penelitian. Tidak ada laporan yang dihapus pada tahap ini, sehingga seluruh 276 artikel dilanjutkan ke tahap retrieval untuk peninjauan penuh. Selanjutnya, dilakukan penilaian kelayakan (*eligibility*) terhadap isi lengkap dari setiap artikel. Dari hasil evaluasi mendalam, sebanyak 271 artikel dieliminasi karena berada di luar topik penelitian atau tidak memenuhi kriteria analisis yang ditetapkan.

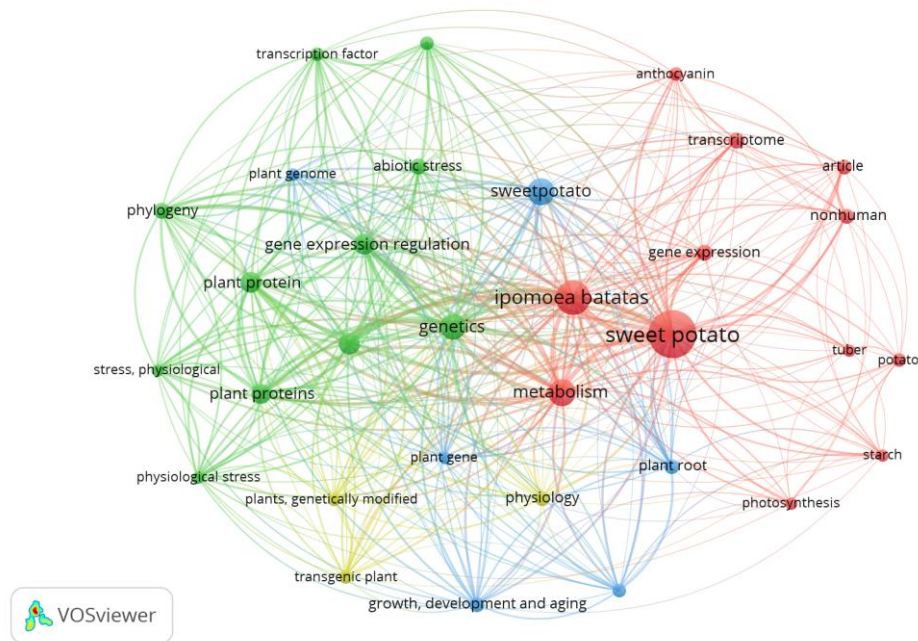
Seluruh 276 artikel yang lolos tahap screening kemudian dianalisis secara bibliometrik menggunakan perangkat lunak VOSviewer untuk memetakan jaringan pengetahuan, kolaborasi antarpeleliti, kata kunci dominan, dan tren penelitian terkini mengenai *Ipomoea batatas*. Analisis ini menghasilkan peta visual yang menggambarkan hubungan antar topik dan perkembangan arah riset dalam bidang biologi tanaman ubi jalar.

Tahap akhir *inclusion* menghasilkan 5 artikel utama yang memenuhi kriteria dan dimasukkan dalam kajian sistematik untuk analisis mendalam. Kelima artikel tersebut menjadi dasar pembahasan

mengenai struktur, fungsi, serta arah perkembangan penelitian *Ipomoea batatas* secara global. Proses PRISMA ini memastikan bahwa seluruh artikel yang direview relevan, kredibel, dan mendukung tujuan penelitian secara komprehensif.

Hasil dan Pembahasan

Analisis Network Visualization



Gambar 2. Co-occurrence pada artikel mengenai Jaringan Tumbuhan *Ipomoea batatas*

Hasil visualisasi bibliometrik menunjukkan bahwa penelitian mengenai *Ipomoea batatas* (ubi jalar) membentuk struktur jaringan pengetahuan yang kompleks dan saling terhubung antar topik. Peta jaringan tersebut memperlihatkan tiga kluster utama yang dibedakan berdasarkan warna, yakni kluster merah, hijau, dan biru, yang masing-masing merepresentasikan fokus tematik tertentu dalam riset *Ipomoea batatas*. Ukuran lingkaran (*node*) menunjukkan frekuensi kemunculan kata kunci dalam literatur, sementara ketebalan garis penghubung (*link*) menunjukkan tingkat keterkaitan antar topik penelitian.

Kluster merah memperlihatkan dominasi istilah seperti "*sweet potato*", "*Ipomoea batatas*", "*metabolism*", "*transcriptome*", "*starch*", dan "*anthocyanin*". Kluster ini merepresentasikan fokus penelitian yang berkaitan dengan kajian molekuler dan biokimia tanaman, terutama yang menyoroti mekanisme metabolisme pati, pigmen antosianin, serta analisis transkriptomik dalam mengungkap ekspresi gen pengatur sifat-sifat agronomis dan nutrisi. Arah penelitian pada kluster ini menegaskan pergeseran fokus ilmiah dari karakterisasi morfologis menuju pendekatan omics yang lebih mendalam untuk memahami fungsi gen dan regulasi metabolik.

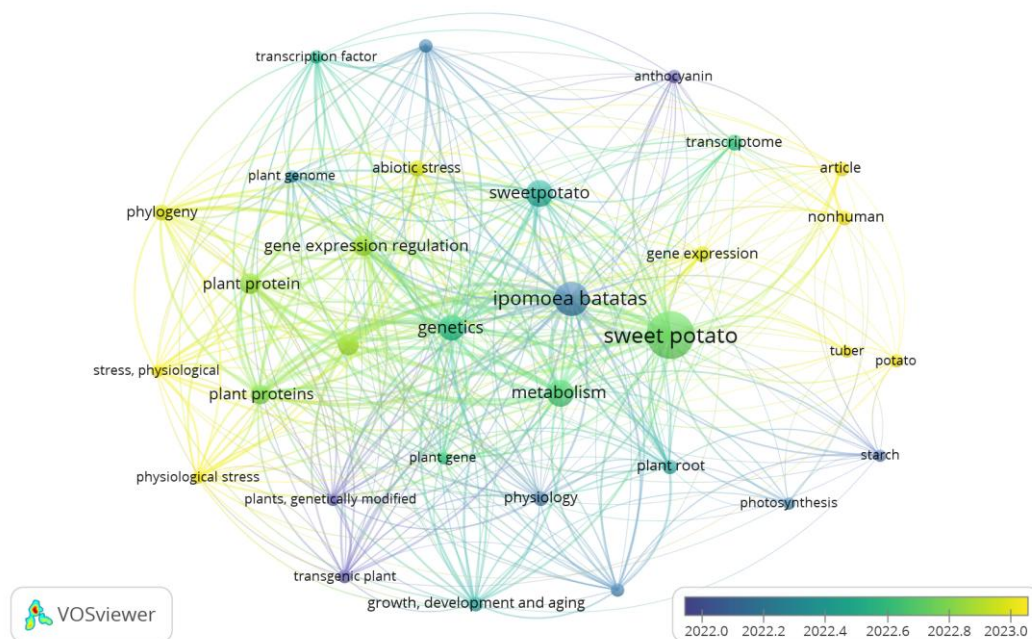
Sementara itu, kluster hijau menampilkan istilah seperti "*gene expression regulation*", "*transcription factor*", "*abiotic stress*", "*plant protein*", dan "*genetics*". Kluster ini menggambarkan bidang penelitian yang menekankan pada aspek genetika dan regulasi ekspresi gen dalam merespons stres abiotik seperti kekeringan, salinitas, dan suhu ekstrem. Keterkaitan antara "*transcription factor*" dan "*abiotic stress*" menunjukkan adanya upaya ilmiah untuk mengidentifikasi gen pengatur utama yang

berperan dalam ketahanan fisiologis tanaman. Selain itu, munculnya istilah “*plants, genetically modified*” menandakan adanya tren pemanfaatan bioteknologi untuk menghasilkan varietas transgenik yang lebih adaptif dan produktif.

Kluster biru memuat istilah seperti “*plant root*”, “*physiology*”, “*growth, development and aging*”, “*transgenic plant*”, dan “*photosynthesis*”. Kluster ini menggambarkan penelitian yang berfokus pada aspek fisiologi dan morfogenesis tanaman, termasuk dinamika pertumbuhan akar, perkembangan umbi, serta hubungan antara fotosintesis dan efisiensi metabolisme tanaman. Fokus penelitian dalam kluster ini berperan penting dalam menjembatani pendekatan molekuler dengan pemahaman proses fisiologis, sehingga menghasilkan pengetahuan terintegrasi antara tingkat seluler dan organisme secara keseluruhan.

Hubungan antarkluster menunjukkan adanya integrasi yang kuat antara bidang molekuler, fisiologi, dan genetika. Istilah “*Ipomoea batatas*” dan “*sweet potato*” berperan sebagai simpul utama (*central nodes*) yang menghubungkan seluruh tema penelitian. Hal ini menandakan bahwa studi mengenai ubi jalar telah berkembang ke arah multidisipliner, dengan kolaborasi lintas bidang untuk memahami regulasi gen, metabolisme, dan adaptasi lingkungan. Keterkaitan antara “*gene expression regulation*”, “*metabolism*”, dan “*physiology*” menegaskan bahwa arah penelitian saat ini lebih menitikberatkan pada pemahaman sistemik yang menggabungkan pendekatan genetik, biokimia, dan ekofisiologis.

Analisis Overlay Visualization



Gambar 3. Trend Kata Kunci pada Bidang Penelitian Mengenai Jaringan Tumbuhan *Ipomoea batatas*

Hasil *overlay visualization* memberikan gambaran dinamis mengenai perkembangan temporal dan arah penelitian terkait *Ipomoea batatas* dalam kurun waktu 2022–2023. Warna pada jaringan menunjukkan periode kemunculan kata kunci: biru menunjukkan topik yang lebih awal diteliti, sedangkan kuning menunjukkan topik yang relatif lebih baru dan terkini. Dengan demikian, visualisasi ini tidak hanya memperlihatkan struktur keterkaitan antar topik, tetapi juga menyoroti evolusi fokus penelitian dalam bidang biologi dan bioteknologi *I. batatas*.

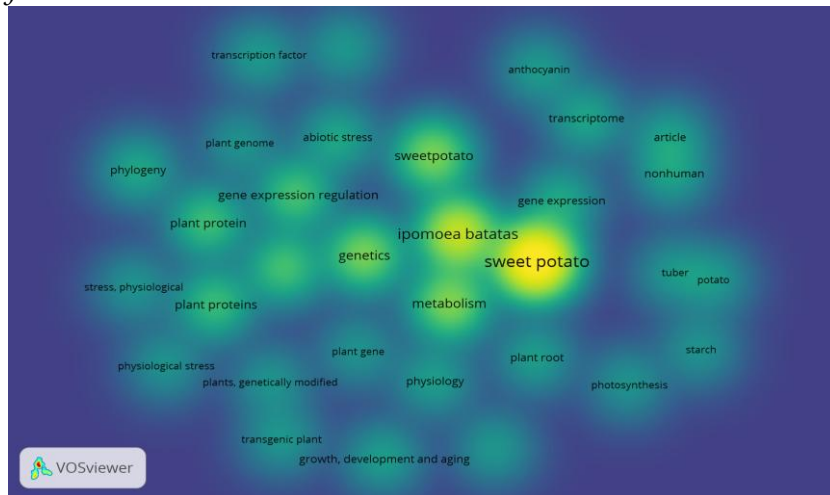
Dari peta terlihat bahwa istilah "*Ipomoea batatas*" dan "*sweet potato*" tetap menjadi pusat utama penelitian sepanjang periode analisis, menandakan konsistensi fokus ilmiah terhadap aspek genetik dan fisiologis tanaman ini. Warna hijau hingga biru kehijauan pada kedua istilah tersebut menunjukkan bahwa riset dasar terkait identifikasi gen, metabolisme, dan fisiologi tanaman telah berkembang stabil sejak awal 2022. Namun, munculnya node-node berwarna lebih kuning seperti "*gene expression*", "*tuber*", "*starch*", dan "*nonhuman*" menandakan adanya perluasan fokus riset menuju aplikasi metabolomik dan bioteknologi terapan yang mulai menguat pada akhir 2022 hingga 2023.

Beberapa topik dengan warna kebiruan seperti "*transgenic plant*", "*growth, development and aging*", dan "*physiology*" menunjukkan fase penelitian yang lebih awal, yang menitikberatkan pada aspek fisiologi tanaman dan pendekatan bioteknologi klasik, seperti pembentukan tanaman transgenik untuk meningkatkan karakter pertumbuhan atau ketahanan terhadap stres. Selanjutnya, kluster dengan warna hijau hingga kuning seperti "*gene expression regulation*", "*transcription factor*", dan "*abiotic stress*" memperlihatkan arah penelitian yang lebih modern, berfokus pada eksplorasi regulasi gen dan faktor transkripsi yang berperan dalam mekanisme adaptasi tanaman terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Hal ini menunjukkan bahwa fokus ilmiah telah bergeser ke arah pendekatan molekuler yang lebih spesifik dan bersifat sistemik.

Selain itu, munculnya istilah "*starch*", "*tuber*", dan "*photosynthesis*" dalam warna kekuningan menandakan tren penelitian terkini yang mengaitkan ekspresi gen dengan efisiensi fotosintesis dan akumulasi pati dalam umbi. Penelitian semacam ini berpotensi besar dalam bidang bioenergi dan peningkatan nilai gizi tanaman, menunjukkan arah baru yang lebih aplikatif dan berorientasi hasil (*output-oriented research*). Di sisi lain, istilah seperti "*transcriptome*" dan "*anthocyanin*" yang tampak berwarna kebiruan mencerminkan fase awal dari kajian omics, yang kini mulai berkembang menuju analisis integratif antara genomik, transkriptomik, dan metabolomik.

Secara keseluruhan, *overlay visualization* mengindikasikan bahwa riset *Ipomoea batatas* sedang mengalami transisi dari pendekatan fisiologi klasik menuju kajian molekuler dan genomik yang lebih mendalam, dengan perhatian besar pada ekspresi gen, regulasi metabolisme, dan adaptasi lingkungan. Tren warna kuning pada topik-topik terkait metabolisme dan umbi memperlihatkan bahwa arah penelitian saat ini semakin mengarah pada pemanfaatan hasil kajian molekuler untuk mendukung peningkatan produktivitas dan kualitas tanaman. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan dinamika yang positif dalam pengembangan riset *I. batatas*, di mana fokus penelitian tidak hanya bersifat fundamental tetapi juga mengarah pada penerapan bioteknologi berkelanjutan dalam bidang pertanian dan pangan.

Analisis Density Visualization



Gambar 4. Kerapatan Penelitian Mengenai Interaksi Mikoriza Dan Akar *Ipomoea batatas*

Hasil *density visualization* menunjukkan bahwa topik penelitian mengenai *Ipomoea batatas* (ubi jalar) terpusat kuat pada kata kunci “*sweet potato*” dan “*Ipomoea batatas*”, yang tampak sebagai area dengan intensitas warna kuning paling terang. Hal ini menandakan bahwa kedua istilah tersebut memiliki frekuensi kemunculan dan keterkaitan tertinggi dalam literatur ilmiah terkait. Di sekitar inti tersebut, istilah seperti “*genetics*”, “*metabolism*”, “*gene expression*”, dan “*physiology*” juga menempati posisi dengan kerapatan menengah, menunjukkan bahwa fokus utama penelitian *Ipomoea batatas* berkaitan erat dengan aspek genetika, metabolisme, dan ekspresi gen pada tingkat molekuler maupun fisiologis.

Area dengan kerapatan lebih rendah (berwarna hijau hingga biru) mencakup istilah seperti “*transcription factor*”, “*abiotic stress*”, “*plant proteins*”, “*photosynthesis*”, dan “*starch*”. Hal ini menggambarkan bahwa meskipun topik-topik tersebut relevan, intensitas penelitian terhadapnya masih lebih rendah dibandingkan tema utama. Temuan ini juga memperlihatkan adanya arah penelitian menuju kajian fungsional terhadap respons stres abiotik dan pengaturan ekspresi gen dalam konteks ketahanan tanaman dan peningkatan hasil umbi.

Selain itu, munculnya istilah seperti “*transgenic plant*”, “*growth, development and aging*”, dan “*gene expression regulation*” menegaskan bahwa riset-riset terkini mulai menyoroti pendekatan bioteknologi dan manipulasi genetik untuk memahami mekanisme pertumbuhan serta adaptasi *sweet potato*. Istilah “*anthocyanin*” dan “*starch*” juga menunjukkan adanya fokus pada aspek biokimia dan nilai gizi umbi, menandakan perluasan arah penelitian dari sekadar studi fisiologi menuju potensi aplikatif di bidang pangan dan industri.

Peta kerapatan ini mengindikasikan bahwa riset global mengenai *Ipomoea batatas* bergerak dinamis dari kajian dasar (genetika dan fisiologi) menuju pemanfaatan terapan melalui pendekatan omik dan rekayasa genetik. Pola ini memperkuat posisi *sweet potato* sebagai model penting dalam penelitian tanaman umbi tropis serta sumber ketahanan pangan masa depan.

Kajian Artikel

Eksplorasi sistem jaringan tumbuhan *Ipomoea batatas* menjadi semakin relevan seiring dengan pergeseran tren penelitian global yang menekankan integrasi pendekatan anatomi, fisiologi, dan molekuler untuk memahami hubungan antara struktur dan fungsi organ tumbuhan. Sejalan dengan topik “Eksplorasi Jaringan Tumbuhan *Ipomoea batatas*: Kajian Bibliometrik terhadap Struktur, Fungsi,

dan Arah Penelitian Terkini,” dilakukan penyaringan literatur secara terarah untuk mengidentifikasi lima penelitian representatif dan berdampak tinggi yang mencerminkan sifat multidimensional dari kajian jaringan dan organ pada *I. batatas*. Kelima artikel ini mencakup berbagai aspek biologi tumbuhan mulai dari alokasi karbon subseluler dan jaringan biosintesis pigmen, hingga arsitektur sistem perakaran dan inovasi fenotiping sehingga memberikan dasar yang kuat bagi pemetaan bibliometrik spesies ini.

Lima penelitian yang dipilih, yaitu karya Drapal *et al.* (2022), Xiao *et al.* (2023), Bravo *et al.* (2025), Duque (2023), dan Setoguchi *et al.* (2023), secara kolektif menggambarkan bagaimana analisis struktural dan fungsional jaringan berkembang dalam penelitian ubi jalar. Drapal *et al.* mengungkap bagaimana ultrastruktur amiloplas mengatur keseimbangan antara biosintesis pati dan karotenoid; Xiao *et al.* dan Setoguchi *et al.* mengkarakterisasi regulasi transkripsional metabolik pada pembentukan antosianin dan akumulasi pigmen pada umbi berwarna; sementara Bravo *et al.* dan Duque menyoroti peran penting arsitektur sistem perakaran dan metode fenotiping dalam memahami adaptasi lingkungan serta toleransi terhadap cekaman abiotik.

Kelima artikel tersebut dipilih secara sistematis berdasarkan kesesuaiannya dengan fokus utama kajian ini-eksplorasi struktur jaringan, mekanisme fisiologis, serta arah penelitian terkini pada *Ipomoea batatas*. Secara keseluruhan, hasil kajian ini menunjukkan perkembangan pengetahuan dari perspektif molekuler dan seluler menuju kerangka yang lebih integratif dan aplikatif, yang tidak hanya memperkaya pemahaman dasar biologi tumbuhan, tetapi juga memberikan kontribusi penting bagi inovasi di bidang pertanian dan bioteknologi tanaman.

Tabel 1. Tinjauan Artikel Mengenai Jaringan Tumbuhan *Ipomoea batatas*

Author (Tahun)	Judul	Jurnal	Ide Utama	Temuan Utama	Peluang Penelitian Selanjutnya
Drapal <i>et al.</i> (2022)	Changes in Carbon Allocation and Subplastidal Amyloplast Structures of Specialised <i>Ipomoea batatas</i> (Sweet Potato) Storage Root Phenotypes	Phytochemistry	Menganalisis alokasi karbon dan struktur amiloplas subplastidal pada beberapa fenotipe ubi jalar penyimpan β -karoten tinggi.	Ditemukan kompetisi antara sintesis pati dan karotenoid di amiloplas yang mempengaruhi pembentukan amilokromoplas. Peningkatan β -karoten menurunkan kandungan pati akibat perubahan metabolisme karbon.	Kajian lanjut diperlukan untuk menentukan ambang batas kandungan karotenoid yang mengubah struktur amiloplas dan memengaruhi efisiensi penyimpanan karbohidrat.
Xiao <i>et al.</i> (2023)	Regulatory Network Characterization of Anthocyanin Metabolites in Purple Sweetpotato Via Joint	Frontiers in Plant Science	Mengkarakterisasi jaringan regulasi biosintesis antosianin pada ubi jalar ungu melalui pendekatan gabungan	Ditemukan 38 metabolit pigmen dan 1214 gen yang diekspresikan berbeda. Gen struktural seperti CHI, DFR, ANS, dan GST berperan penting dalam	Perluasan studi terhadap pengaturan gen FLS dan MBW complex pada varietas lokal untuk meningkatkan

	Transcriptomics and Metabolomics		transkriptomik dan metabolomik	akumulasi antosianin.	biosintesis pigmen fungsional.
Bravo <i>et al.</i> (2025)	Variation in Root System Architecture and Lead Accumulation in Sweetpotato (<i>Ipomoea batatas</i> L.) Cultivars Bayou Belle and Beauregard	HortScience	Meneliti variasi arsitektur sistem perakaran dan akumulasi timbal (Pb) pada dua kultivar ubi jalar di bawah kondisi cekaman logam berat.	Kultivar Bayou Belle menunjukkan jumlah akar lateral lebih tinggi dan akumulasi Pb lebih rendah dibanding Beauregard. Hubungan antara massa akar dan toleransi Pb terkonfirmasi.	Penelitian lanjut untuk pemuliaan varietas tahan logam berat melalui seleksi karakter RSA (<i>root system architecture</i>).
Duque (2023)	Early Root Phenotyping in Sweetpotato (<i>Ipomoea batatas</i> L.) Uncovers Insights Into Root System Architecture Variability	PeerJ	Mengembangkan sistem fenotiping akar awal berbasis tanpa tanah untuk mempelajari variasi arsitektur akar ubi jalar.	Sistem 'ebb and flow' berhasil menilai dinamika pertumbuhan akar secara non-destruktif. Genotipe NC10-275 memiliki panjang dan volume akar lebih besar dibanding Covington.	Aplikasi sistem ini untuk uji stres abiotik (kekeringan, logam berat) serta pengembangan seleksi genotipe berbasis karakter akar.
Setoguchi <i>et al.</i> (2023)	Effect of Growth Stages on Anthocyanins and Polyphenols in the Root System of Sweet Potato	Plants	Menganalisis perubahan kandungan antosianin dan polifenol pada berbagai tahap pertumbuhan akar ubi jalar berflesh ungu	Kandungan antosianin terasetilasi tertinggi ditemukan pada tahap awal pertumbuhan (15 hari setelah tanam). Kandungan polifenol meningkat hingga 45 hari, lalu menurun saat pembentukan umbi. Tahap awal pertumbuhan penting untuk akumulasi senyawa pelindung.	Penentuan strategi waktu aplikasi nutrisi atau stres abiotik untuk memaksimalkan sintesis antosianin dan polifenol pada kultivar ungu.

Analisis bibliometrik menggunakan *VOSviewer* terhadap publikasi ilmiah mengenai *Ipomoea batatas* memperlihatkan bahwa penelitian jaringan tumbuhan pada spesies ini berkembang dalam

beberapa klaster tematik utama. Klaster pertama berpusat pada topik metabolisme plastid dan alokasi karbon, yang mencakup studi mengenai transformasi amiloplas dan amilo-kromoplas. Klaster kedua terkait regulasi biosintesis pigmen dan ekspresi gen, menyoroti gen-gen kunci yang mengatur akumulasi karotenoid dan antosianin. Klaster ketiga mencerminkan tema arsitektur sistem perakaran (*Root System Architecture*, RSA) dan pendekatan fenotipik modern, sementara klaster keempat berhubungan dengan respons terhadap cekaman lingkungan dan ketahanan fisiologis. Klaster terakhir berfokus pada inovasi metodologi dan teknologi analisis jaringan, seperti penggunaan *transcriptomics*, *metabolomics*, serta sistem fenotiping non-destruktif.

Hasil pemetaan bibliometrik tersebut sejalan dengan temuan dalam lima artikel terpilih yang telah disaring dan disajikan dalam tabel review. Studi Drapal *et al.* (2022) dalam *Phytochemistry* meneliti mekanisme alokasi karbon dan perubahan struktur sub-plastidal pada umbi *I. batatas* berwarna jingga. Penelitian tersebut menemukan adanya kompetisi antara sintesis pati dan karotenoid di dalam amiloplas, yang menghasilkan transisi plastid dari amiloplas menjadi amilo-kromoplas saat kandungan β -karoten meningkat. Penemuan ini menjadi dasar penting dalam memahami hubungan antara struktur jaringan penyimpanan dan metabolisme sekunder yang mempengaruhi nilai nutrisi umbi.

Selanjutnya, penelitian Xiao *et al.* (2023) dan Setoguchi *et al.* (2023) memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antara ekspresi genetik dan aktivitas fisiologis pada jaringan penyimpanan ubi jalar (*Ipomoea batatas*). Xiao *et al.* (2023) melalui pendekatan gabungan transkriptomik dan metabolomik mengidentifikasi bahwa gen struktural seperti CHI, DFR, ANS, dan GST, serta faktor transkripsi kompleks MBW (MYB-bHLH-WD40), berperan dominan dalam pengaturan biosintesis antosianin pada jaringan umbi berwarna ungu. Aktivitas gen-gen tersebut terutama terdeteksi pada jaringan parenkim penyimpanan dan korteks, tempat akumulasi pigmen antosianin berlangsung secara intensif. Sementara itu, Setoguchi *et al.* (2023) menunjukkan bahwa pada tahap awal pertumbuhan akar, jaringan periderm dan korteks sudah menunjukkan diferensiasi dan akumulasi antosianin terasetilasi, yang kemudian meningkat seiring pembentukan jaringan pembuluh dan kambium. Temuan ini menunjukkan bahwa biosintesis antosianin dan polifenol pada *Ipomoea batatas* tidak hanya dikendalikan secara genetik, tetapi juga bergantung pada perkembangan dan diferensiasi jaringan, di mana aktivitas metabolik dan ekspresi gen saling terintegrasi dalam membentuk warna dan kandungan pigmen pada umbi penyimpanan.

Sementara itu, penelitian Bravo *et al.* (2025) dalam *HortScience* mengkaji variasi arsitektur sistem perakaran dan kemampuan akumulasi logam berat (Pb) pada dua kultivar ubi jalar, Bayou Belle dan Beauregard. Hasilnya menunjukkan bahwa kultivar dengan jumlah akar lateral lebih banyak memiliki kemampuan lebih baik dalam menahan Pb di jaringan akar, sehingga akumulasi logam berat pada umbi menjadi lebih rendah. Kajian ini menegaskan peran morfologi dan fungsi jaringan akar sebagai mekanisme adaptif terhadap kondisi lingkungan yang tercemar, sekaligus membuka peluang penerapan konsep fisiologi jaringan dalam pemuliaan varietas tahan stres abiotik.

Penelitian Duque (2023) dalam *PeerJ* berkontribusi melalui pengembangan sistem fenotiping non-destruktif untuk mempelajari variabilitas arsitektur akar sejak fase awal pertumbuhan. Dengan memanfaatkan sistem *ebb-and-flow*, penelitian ini berhasil memantau dinamika pertumbuhan akar secara real time tanpa merusak jaringan tanaman, serta mengidentifikasi genotipe dengan performa akar unggul. Pendekatan ini menunjukkan bahwa teknologi fenotiping modern dapat menjadi alat penting dalam memahami hubungan antara struktur jaringan dan fungsi fisiologis akar, terutama dalam konteks seleksi genotipe unggul untuk peningkatan hasil.

Integrasi hasil bibliometrik dan kajian literatur menunjukkan bahwa masih terdapat beberapa celah penelitian (*research gap*) yang perlu dijawab. Pertama, belum banyak penelitian yang menggabungkan pendekatan anatomi jaringan dengan analisis multi-omics (transkriptomik, metabolomik, dan proteomik) secara spasial untuk mengungkap hubungan langsung antara struktur

dan fungsi jaringan. Kedua, studi mengenai arsitektur perakaran masih terbatas pada kondisi laboratorium, sehingga diperlukan validasi di lapangan agar hasilnya relevan secara agronomis. Ketiga, penelitian mengenai transisi plastid dan distribusi metabolit sekunder masih kurang menyertakan analisis resolusi tinggi seperti *spatial transcriptomics* atau *single-cell RNA sequencing*, yang saat ini telah berhasil diterapkan pada beberapa tanaman model lain seperti Arabidopsis (Lee *et al.*, 2025).

Berdasarkan hasil analisis tersebut, beberapa solusi strategis dapat diajukan untuk memperkuat riset jaringan *I. batatas* di masa depan. Pertama, diperlukan pendekatan integratif yang menggabungkan analisis anatomi mikro (TEM/SEM) dengan *spatial metabolomics* dan transkriptomik pada jaringan yang sama, guna menentukan ambang batas β -karoten yang memicu perubahan plastid seperti yang ditemukan oleh Drapal *et al.* (2022). Kedua, perlu dilakukan standarisasi metode fenotiping akar berbasis sistem *ebb-and-flow* agar dapat diterapkan dalam skala multi-lokasi sebagaimana disarankan oleh Duque (2023). Ketiga, pengembangan pemuliaan berbasis genomik untuk mengatasi trade-off antara kandungan β -karoten dan kadar pati dapat dilakukan dengan menggabungkan pendekatan *QTL mapping* dan *genomic selection* sebagaimana disarankan oleh Gemenet *et al.* (2020).

Selain itu, diperlukan pula kajian yang lebih mendalam mengenai mekanisme fisiologis akumulasi logam berat pada jaringan akar, termasuk identifikasi gen dan protein pengikat logam yang berperan dalam fitostabilisasi, sebagaimana diindikasikan oleh Bravo *et al.* (2025). Di sisi lain, peluang riset lanjutan juga terbuka dalam eksplorasi heterogenitas seluler pada jaringan akar dan umbi dengan menggunakan pendekatan *single-cell omics* yang telah terbukti efektif pada spesies lain (Yu *et al.*, 2023). Pendekatan ini akan memperkuat pemahaman mengenai fungsi spesifik tipe sel dalam penyimpanan karbohidrat, sintesis pigmen, dan respons terhadap stres lingkungan.

Dengan demikian, integrasi hasil analisis *VOSviewer* dan tabel review menunjukkan bahwa penelitian jaringan *Ipomoea batatas* telah mengalami perkembangan pesat dari tingkat anatomi klasik menuju pendekatan molekuler dan fisiologis yang lebih kompleks. Namun, arah penelitian ke depan perlu difokuskan pada penggabungan pendekatan lintas-skala (dari seluler hingga sistem organ), validasi fenotipik di lapangan, serta penerapan teknologi resolusi tinggi untuk memahami dinamika jaringan secara spasial dan temporal. Upaya ini diharapkan dapat menghasilkan pemahaman menyeluruh tentang struktur dan fungsi jaringan ubi jalar yang akan mendukung peningkatan produktivitas, ketahanan lingkungan, dan nilai nutrisi tanaman ini secara berkelanjutan.

Kesimpulan

Hasil kajian bibliometrik terhadap publikasi ilmiah *Ipomoea batatas* periode 2020–2025 menunjukkan bahwa penelitian jaringan tumbuhan mengalami perkembangan pesat menuju integrasi antara anatomi, fisiologi, dan molekuler. Analisis peta bibliometrik mengungkap lima tema utama: dinamika plastid dan alokasi karbon, regulasi genetik biosintesis pigmen, arsitektur sistem perakaran, adaptasi terhadap cekaman lingkungan, serta penerapan teknologi *multi-omics* dan fenotiping modern. Meskipun tren publikasi meningkat signifikan, masih terdapat kesenjangan dalam integrasi data anatomi dengan analisis *transkriptomik* dan *metabolomik* spasial serta validasi hasil penelitian di lapangan.

Hipotesis penelitian terbukti bahwa fokus riset jaringan *I. batatas* masih terfragmentasi antara struktur dan fungsi, namun menunjukkan arah konvergensi menuju pendekatan lintas-skala yang lebih komprehensif. Arah penelitian masa depan perlu difokuskan pada penerapan teknologi resolusi tinggi seperti *spatial transcriptomics* dan *single-cell RNA sequencing* (Yu *et al.*, 2023), serta pemuliaan berbasis genomik untuk mengatasi *trade-off* antara β -karoten dan pati (Gemenet *et al.*, 2020). Pendekatan terpadu ini diharapkan mampu memperdalam pemahaman hubungan struktur–fungsi jaringan dan mendukung pengembangan varietas ubi jalar bernilai gizi tinggi serta tahan terhadap stres lingkungan.

References

- Behera, S., Chauhan, V. B. S., Pati, K., Bansode, V., Nedunchezhiyan, M., Verma, A. K., ... & Naik, S. K. (2022). Biology and Biotechnological Aspect of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.): A Commercially Important Tuber Crop. *Planta*, 256(2), 40. <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03938-8>
- Bravo, M. A., Barbosa, M., Arce, L., Tubana, B., LaBonte, D., Baricuatro, J., & Villordon, A. (2025). Variation in Root System Architecture and Lead Accumulation in Sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) Cultivars Bayou Belle and Beauregard. *HortScience*, 60(6), 871–877. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI18492-25>
- Bugis, P. A., Raharjo, S. H. T., & Wahditiya, A. A. (2024). Eksplorasi Morfologi dan Kandungan Proksimat Pada Ubi Jalar (*Ipomoea batatas* L.) dari Kepulauan Kei, Maluku. *AGRORADIX: Jurnal Ilmu Pertanian*, 8(1), 10–19. <https://doi.org/10.52166/agroteknologi.v8i1.6843>
- Drapal, M., Gerrish, C., & Fraser, P. D. (2022). Changes in Carbon Allocation and Subplastidal Amyloplast Structures of Specialised *Ipomoea batatas* (Sweet Potato) Storage Root Phenotypes. *Phytochemistry*, 203, 113409. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2022.113409>
- Duque, L. O. (2023). Early Root Phenotyping in Sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) Uncovers Insights Into Root System Architecture Variability. *PeerJ*, 11, e15448. <https://doi.org/10.7717/peerj.15448>
- Gemenet, D. C., da Silva Pereira, G., De Boeck, B., Wood, J. C., Mollinari, M., Olukolu, B. A., ... & Buell, C. R. (2020). Quantitative Trait Loci and Differential Gene Expression Analyses Reveal the Genetic Basis for Negatively Associated B-Carotene and Starch Content in Hexaploid Sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]. *Theoretical and Applied Genetics*, 133(1), 23–36. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03437-7>
- Kirakosyan, R. N., Kalashnikova, E. A., Abubakarov, H. G., Sleptsov, N. N., Dudina, Y. A., Temirbekova, S. K., ... & Sumin, A. V. (2022). Influence Of Mineral Treatment, Plant Growth Regulators and Artificial Light on The Growth of Jewel Sweet Potato (*Ipomoea batatas* Lam. cv. Jewel) in Vitro. *Life*, 13(1), 52. <https://doi.org/10.3390/life13010052>
- Lee, T. A., Illouz-Eliaz, N., Nobori, T., Xu, J., Jow, B., Nery, J. R., & Ecker, J. R. (2025). A Single-Cell, Spatial Transcriptomic Atlas of The Arabidopsis Life Cycle. *Nature Plants*, 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41477-025-02072-z>
- Meng, X., Dong, T., Li, Z., & Zhu, M. (2024). First Systematic Review of The Last 30 Years Of Research on Sweetpotato: Elucidating The Frontiers and Hotspots. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1428975. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1428975>
- Setoguchi, Y., Nakagawa, S., Ohmura, R., Toshima, S., Park, H., Narasako, Y., ... & Kunitake, H. (2023). Effect of Growth Stages on Anthocyanins and Polyphenols in The Root System of Sweet Potato. *Plants*, 12(9), 1907. <https://doi.org/10.3390/plants12091907>
- Tadda, S. A., Kui, X., Yang, H., Li, M., Huang, Z., Chen, X., & Qiu, D. (2021). The Response of Vegetable Sweet Potato (*Ipomoea batatas* Lam) Nodes To Different Concentrations Of Encapsulation Agent and MS Salts. *Agronomy*, 12(1), 19. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010019>
- Tan, W., Guo, X., Wang, Z., Zhang, R., Tang, C., Jiang, B., ... & Chen, J. (2024). Metabolic Profiles and Morphological Characteristics of Leaf Tips Among Different Sweet Potato (*Ipomoea batatas* Lam.) varieties. *Journal of Integrative Agriculture*, 23(2), 494–510. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.04.029>
- Xiao, J., Xu, X., Li, M., Wu, X., & Guo, H. (2023). Regulatory Network Characterization of Anthocyanin Metabolites in Purple Sweetpotato Via Joint Transcriptomics and Metabolomics. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1030236. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1030236>
- Yu, X., Liu, Z., & Sun, X. (2023). Single-Cell and Spatial Multi-Omics in The Plant Sciences: Technical Advances, Applications, and Perspectives. *Plant Communications*, 4(3). <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100508>