

Analisis Bibliografi: Teknologi *LED Full-Spectrum* dan Fertigasi Vertikal

Damar Sucahyadi^{1*}, Usman Sofyan¹, Dika Agung Prasetyo¹, Ma'ruf Pambudi Nurwantara¹

¹Agroteknologi, Universitas Merdeka Madiun, Jl. Serayu No. 79, Madiun, 63133

*Penulis Korespondensi, e-mail: damarsucahyadi6@gmail.com

Abstract

This study is driven by the increasing use of full-spectrum LED technology and vertical fertigation systems in contemporary agriculture. However, previous research has not provided a comprehensive analysis of the scientific literature related to these two topics. The PRISMA flow was applied for data selection and Bibliometrix (R) were used to visualize keyword networks, core sources, and author collaborations based on data collected from reputable academic databases. The purpose of this study is to identify publication trends, dominant keywords, influential authors, and patterns of scientific collaboration through a bibliometric approach. The findings reveal a significant rise in research interest in full-spectrum LEDs and vertical fertigation since 2019. Journals such as Agronomy, Plants, and Scientia Horticulturae emerged as core sources according to Bradford's Law. Keyword network analysis similarly indicates that vertical farming has become a growing research focus, closely associated with hydroponics, lighting technologies, and energy efficiency. Several major author clusters were identified, featuring key contributors such as Orsini, Pennisi, and Martin, who play an important role in advancing precision cultivation technologies. Overall, this study provides a comprehensive overview of the scientific landscape surrounding full-spectrum LED technology and vertical fertigation, while also outlining future research directions and opportunities to support the development of sustainable agricultural systems.

Keywords: bibliometrics; full-spectrum LED; vertical farming; vertical fertigation

Abstrak

Penelitian ini didorong oleh peningkatan penggunaan teknologi *LED full-spectrum* dan sistem fertigasi vertikal dalam pertanian kontemporer. Namun, penelitian sebelumnya belum melakukan analisis menyeluruh tentang kemajuan literatur terkait kedua topik tersebut. Alur PRISMA digunakan untuk memilih data dan Bibliometrix (R) digunakan untuk melihat jaringan kata kunci, sumber inti, dan kolaborasi penulis dalam data yang dikumpulkan dari berbagai basis data yang berkualitas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi tren dalam publikasi, kata kunci dominan, penulis berpengaruh, dan pola kolaborasi ilmiah dengan menggunakan pendekatan bibliometrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sejak tahun 2019, minat terhadap *LED full-spectrum* dan fertigasi vertikal meningkat pesat. Jurnal seperti Agronomi, Tanaman, dan Scientia Horticulturae menjadi sumber utama, menurut Hukum Bradford. serupa ditunjukkan oleh jaringan kata kunci, peternakan vertikal telah menjadi fokus penelitian baru. Ini terkait dengan hidroponik, pencahayaan, dan efisiensi energi. Beberapa kluster besar dengan tokoh penting seperti Orsini, Pennisi, dan Martin ditemukan dalam analisis kolaborasi penulis. Tokoh-tokoh ini berkontribusi pada kemajuan teknologi budidaya presisi. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan gambaran menyeluruh tentang pemahaman ilmiah terkait *LED full-spectrum* dan fertigasi vertikal. Selain itu, penelitian ini menentukan jalan dan peluang penelitian yang mungkin untuk membangun sistem pertanian berkelanjutan di masa depan.

Kata Kunci: bibliometrik; fertigasi vertikal; LED full-spectrum; vertical farming

PENDAHULUAN

Untuk meningkatkan efisiensi budidaya tanaman, inovasi berbasis pencahayaan buatan dan pengelolaan nutrisi yang tepat telah menjadi tren dalam sistem pertanian kontemporer (Godfray et al. 2010; FAO 2017; United Nations 2019; Benke dan Tomkins 2017). Studi Putri et al. (2021) menemukan bahwa variasi spektrum dan intensitas cahaya LED benar-benar mempengaruhi pertumbuhan *microgreens* pakcoy. Ini terutama terjadi pada tahap awal vegetatif. *LED full-spectrum* adalah teknologi yang semakin populer yang menawarkan gelombang panjang yang ideal

untuk fotosintesis (McCree 1972; Kusuma, Pattison, dan Bugbee 2020). Hasilnya menunjukkan bahwa pengaturan cahaya berbasis dioda listrik dapat secara signifikan mempengaruhi fisiologi tanaman dan produktivitasnya dalam sistem budidaya dalam ruangan (Morrow 2008; Massa et al. 2008; Olle dan Viršile 2013). Dibandingkan lampu konvensional, LED memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi, umur pakai panjang, emisi panas rendah, serta panjang gelombang yang dapat diatur sesuai kebutuhan tanaman (Yeh dan Chung 2009; Singh et al. 2015; Pattison et al. 2018; Gómez dan Izzo 2018). Cahaya biru dan merah diserap paling kuat oleh klorofil, tetapi penambahan cahaya hijau dan far-red mampu meningkatkan penetrasi cahaya ke dalam kanopi serta efisiensi fotosintesis secara keseluruhan (Kim et al. 2004; Terashima et al. 2009; Smith, McAusland, dan Murchie 2017; Zhen dan van Iersel 2017; Zhen dan Bugbee 2020). Oleh karena itu, LED putih berspektrum penuh semakin banyak digunakan karena menghasilkan pertumbuhan yang sebanding dengan kombinasi merah-biru, sekaligus memperbaiki kualitas visual tanaman dan kenyamanan kerja di fasilitas budidaya (Cope dan Bugbee 2013; Park dan Runkle 2018; Yan et al. 2020; Kusuma, Swan, dan Bugbee 2021).

Dalam sistem hidroponik bertingkat, Fertigasi terbukti mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman serta efisiensi penyerapan nutrisi. Hal ini ditunjukkan oleh penelitian Supriyanto *et al.* (2023) yang menemukan bahwa sistem drip-fertigasi menyediakan nutrisi secara lebih presisi sehingga tanaman dapat memanfaatkannya secara optimal. Fertigasi, yaitu pemberian pupuk terlarut bersamaan dengan air irigasi, memungkinkan dosis hara disesuaikan dengan fase pertumbuhan tanaman sekaligus menekan kehilangan hara ke lingkungan (Kafkafi dan Tarchitzky 2011; Sonneveld dan Voogt 2009; Incrocci, Massa, dan Pardossi 2017; Savvas dan Gruda 2018). Sistem vertikal yang memadukan pencahayaan LED dan fertigasi dianggap sangat potensial dalam pertanian perkotaan karena dapat meningkatkan produksi dengan jejak lahan yang minimal (Touliatos, Dodd, dan McAinsh 2016; Al-Kodmany 2018; Kalantari et al. 2018; Specht et al. 2014). Sistem pertanian vertikal telah berkembang menjadi solusi untuk mengoptimalkan penggunaan lahan dan nutrisi selain pencahayaan (Despommier 2010; Kozai, Niu, dan Takagaki 2016; Beacham, Vickers, dan Monaghan 2019; van Delden et al. 2021).

Terlepas dari fakta bahwa sejumlah penelitian telah menyelidiki efektivitas LED dan fertigasi secara terpisah, masih ada sedikit pembahasan ilmiah tentang perkembangan literatur tentang kedua topik tersebut (Mitchell et al. 2015; Bantis et al. 2018; Sambo et al. 2019; Nájera et al. 2023). Belum ada analisis bibliografi yang menyeluruh yang menggambarkan tren penelitian, jaringan sitasi, fokus topik, dan tujuan penelitian terkait LED full-spectrum dan fertigasi vertikal. Namun bibliografi sangat penting untuk memahami perkembangan ilmu pengetahuan, menemukan celah penelitian, dan menemukan peluang inovasi teknologi budidaya kontemporer (Zupic dan Čater 2015; Donthu et al. 2021).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk (1) mengidentifikasi kata kunci dominan, pola sitasi, dan penulis yang berpengaruh, (2) membandingkan sebaran publikasi terkait pemanfaatan LED full-spectrum dan fertigasi vertikal, dan (3) mengembangkan tren dan arah penelitian. Menggunakan dasar

data ilmiah berkualitas tinggi dan program seperti VOSviewer untuk visualisasi jaringan penelitian, rencana pemecahan masalah dibuat melalui analisis bibliografi (van Eck dan Waltman 2010; Aria dan Cuccurullo 2017). Pendekatan bibliometrik ini dapat memberikan gambaran sistematis tentang struktur pengetahuan dan perkembangan penelitian (Cobo et al. 2011b; Snyder 2019). Ini akan menjadi landasan untuk pengembangan teknologi budidaya tanaman yang efisien, presisi, dan berkelanjutan.

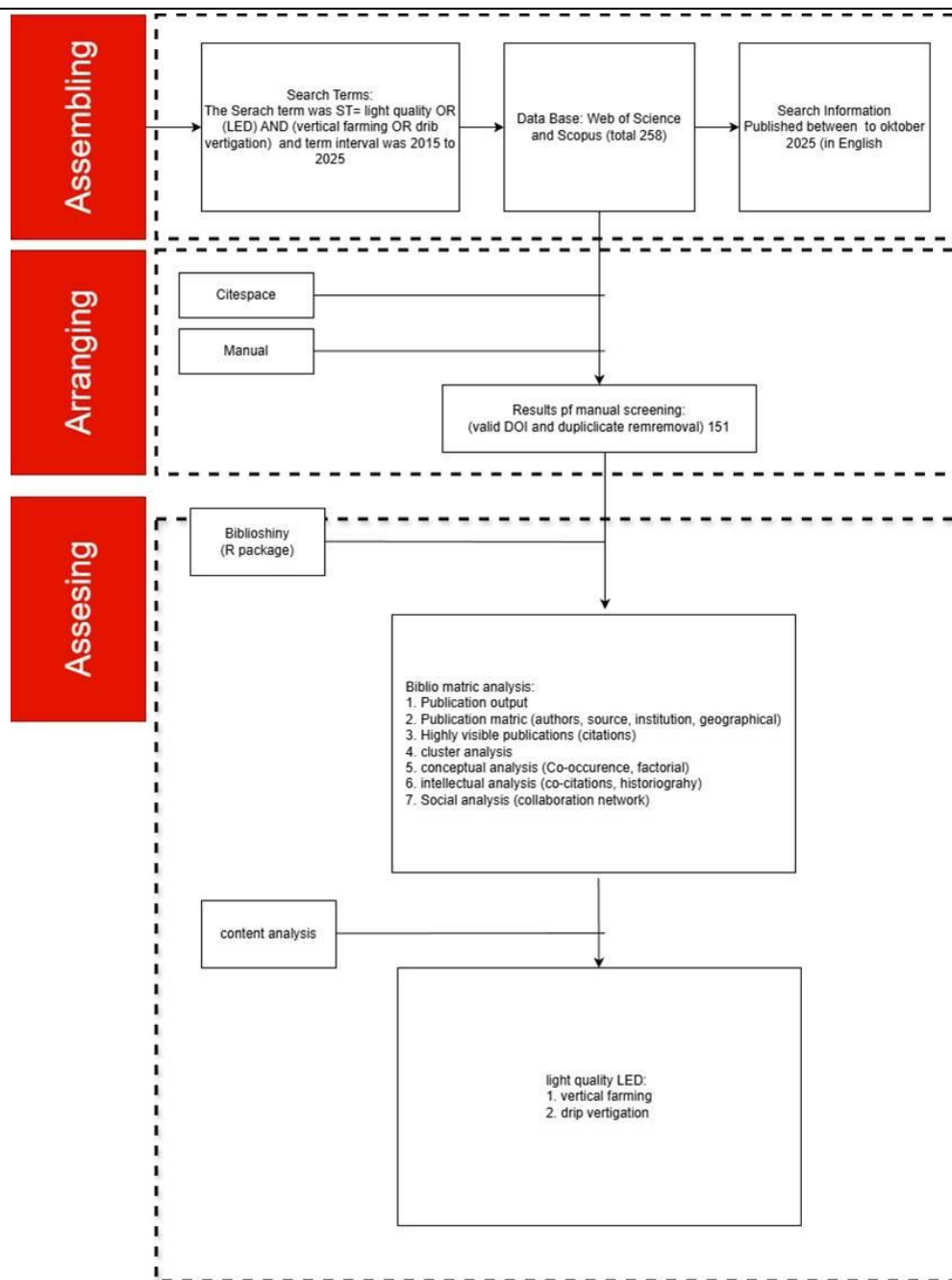
METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi bibliografi (*bibliographic analysis*) dengan pendekatan bibliometrik dan analisis isi (*content analysis*). Rancangan penelitian difokuskan pada pengumpulan, penyaringan, dan analisis data publikasi ilmiah terkait topik *LED full-spectrum* dan *fertigasi vertikal*. Pendekatan bibliometrik digunakan untuk mengidentifikasi tren publikasi, peta kolaborasi, jaringan kata kunci, serta perkembangan tema penelitian (Small 1973; Callon, Courtial, dan Laville 1991; Cobo et al. 2011a). Analisis isi dilakukan untuk menafsirkan temuan utama dalam setiap klaster topik (Donthu et al. 2021).

Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian meliputi publikasi ilmiah yang membahas dua domain utama yaitu teknologi *LED Full-Spectrum* dalam budidaya tanaman (spektrum cahaya, intensitas, *fotoperioda*, respon fisiologis tanaman) dan teknologi *fertigasi vertikal* (manajemen nutrisi, efisiensi penyerapan, sistem pertanian vertikal). Objek penelitian bukan berupa tanaman atau perlakuan lapangan, melainkan metadata artikel ilmiah, mencakup judul, penulis, tahun, afiliasi, kata kunci, abstrak, sumber jurnal, dan sitasi. Rentang waktu penelitian ditetapkan 2010-2025, menyesuaikan perkembangan teknologi LED dan sistem pertanian vertikal modern (Kozai 2013; Kozai, Fujiwara, dan Runkle 2016; Gupta 2017; Kozai 2018).



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Bahan dan Alat

Bahan penelitian meliputi kumpulan metadata artikel ilmiah yang diambil dari beberapa basis data akademik bereputasi, seperti *Scopus*, *Web of Science*, *Google Scholar*, *PubMed*, serta portal nasional seperti Garuda dan Neliti. Data yang dikumpulkan mencakup elemen-elemen penting dalam bibliografi, seperti judul publikasi, nama penulis, afiliasi institusi, kata kunci, tahun terbit, identitas DOI, jumlah sitasi, serta abstrak. Semua data diekspor dalam format bibtex sesuai kompatibilitas perangkat lunak analisis. Penggunaan beberapa basis data dilakukan untuk memperluas cakupan literatur dan mengurangi bias terhadap publikasi tertentu (Mongeon dan Paul-Hus 2016; Martín-Martín et al. 2018).

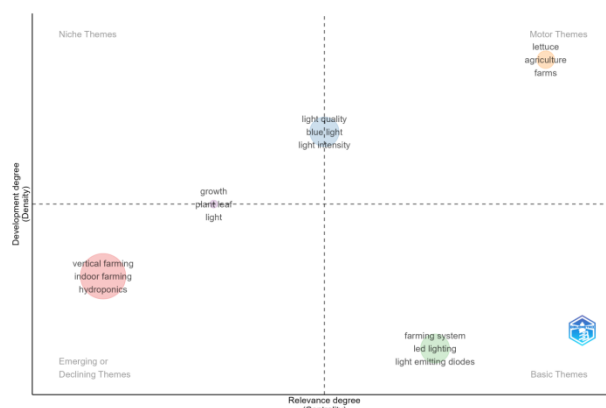
Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data diawali dengan penyusunan kata kunci yang mencerminkan variasi istilah terkait *LED full-spectrum* dan *fertigasi vertikal*, seperti “*LED full spectrum*”, “*white LED*”, “*fertigation*”, “*drip fertigation*”, “*vertical farming*”, dan “*vertical hydroponics*”. Kata kunci ini digunakan untuk membangun search string dengan operator *Boolean* yang disesuaikan dengan karakteristik masing-masing basis data. Setelah *query* dijalankan, seluruh dokumen hasil temuan dikumpulkan dan diekspor ke format yang dapat dianalisis lebih lanjut. Proses seleksi artikel dilakukan mengikuti alur PRISMA, yang meliputi identifikasi dokumen awal, penghapusan duplikat, penyaringan berdasarkan judul dan abstrak, evaluasi *full-text*, dan penentuan dokumen akhir yang layak dianalisis (Moher et al. 2009; Page et al. 2021). Kriteria inklusi mencakup artikel yang relevan dengan topik, berbahasa Indonesia atau Inggris, dan diterbitkan pada rentang tahun 2010-2025. Sementara itu, artikel non-ilmiah atau yang tidak memuat metadata lengkap dikeluarkan dari analisis.

Teknik Analisis Data

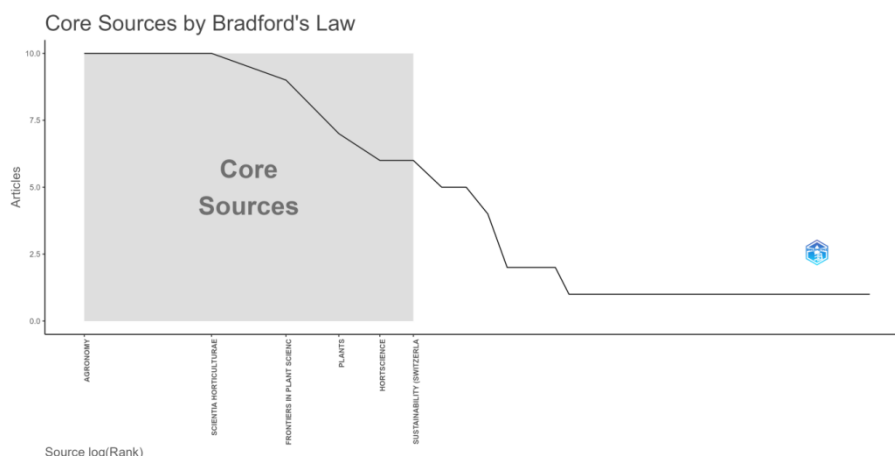
Analisis data dilakukan melalui dua pendekatan utama: bibliometrik dan analisis isi. Analisis bibliometrik digunakan untuk menggambarkan pola publikasi melalui visualisasi tren, peta kolaborasi penulis, jaringan sitasi, serta hubungan antar kata kunci. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Bibliometrix (R), yang mampu menghasilkan peta tematik, klaster penelitian, hingga evolusi topik dari waktu ke waktu (Aria dan Cuccurullo 2017; Cobo et al. 2011a). Produktivitas penulis dan sebaran sumber publikasi masing-masing ditelaah dengan merujuk pada Hukum Lotka dan Hukum Bradford, sedangkan pengaruh penulis diukur melalui indeks-h (Lotka 1926; Bradford 1934; Hirsch 2005). Setelah itu, analisis isi dilakukan untuk menafsirkan lebih dalam setiap klaster tematik, mencakup tujuan penelitian, metode, temuan utama, serta celah penelitian yang dapat menjadi dasar rekomendasi bagi studi selanjutnya. Kombinasi kedua teknik ini memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh terhadap perkembangan pengetahuan dan arah penelitian masa depan dalam bidang teknologi *LED full-spectrum* dan *fertigasi vertikal*.

HASIL DAN PEMBAHASAN



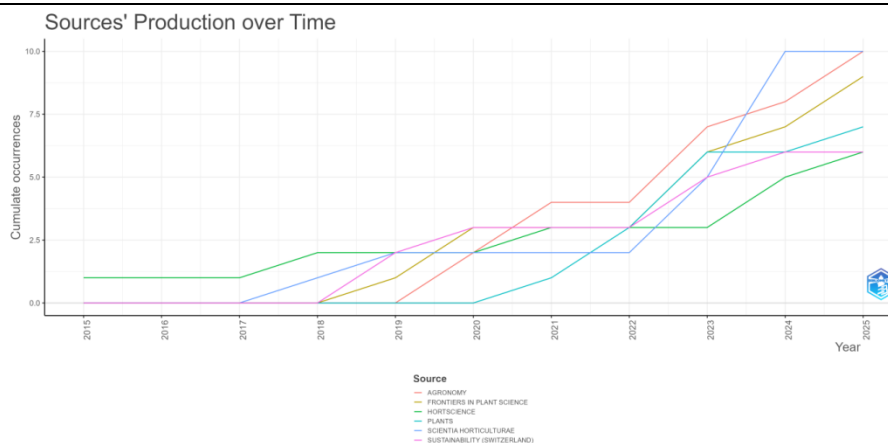
Gambar. 2. *Development degree (Density)*

Dalam penelitian tentang sistem pertanian modern, terutama yang berkaitan dengan pencahayaan, hidroponik, dan lingkungan indoor, berbagai kata kunci disusun dalam empat kuadran berdasarkan dua dimensi: *density* (tingkat kemajuan) dan *centralitas* (tingkat relevansi), mengikuti kerangka peta tematik yang dikembangkan oleh Callon, Courtial, dan Laville (1991) dan Cobo et al. (2011a). Tema seperti pertanian tegak, pertanian dalam ruangan, dan hydroponics masih muncul atau mungkin akan berkurang di kuadran kiri bawah (Graamans et al. 2018; Barbosa et al. 2015; Wong et al. 2020). Meskipun penting, topik-topik ini masih dalam proses pengembangan atau belum menjadi fokus utama jaringan riset. Kata kunci umum seperti pertumbuhan, daun tanaman, dan cahaya ditemukan di bagian tengah bawah. Kata-kata ini menunjukkan fokus penelitian dasar tetapi tidak cukup kuat dalam struktur tema. Pada sisi kanan bawah, topik dasar seperti sistem pertanian, pencahayaan LED, dan diodes sinar matahari ditampilkan (Mitchell et al. 2015; Kozai, Fujiwara, dan Runkle 2016). Tema-tema ini sangat penting tetapi tidak banyak berkembang, sehingga menjadi dasar bagi banyak penelitian tetapi masih dapat dibahas lebih lanjut. Pada kuadran kanan atas, tema motor seperti wortel, pertanian, dan peternakan menunjukkan bahwa topik-topik ini sangat relevan dan berkembang pesat. Tema-tema ini membentuk garis besar penelitian secara keseluruhan. Di bagian kiri atas, kualitas cahaya, cahaya biru, dan intensitas cahaya adalah tema khusus, yaitu masalah yang sangat berkembang namun tidak terlalu penting. Tema-tema ini biasanya dipelajari oleh kelompok penelitian yang lebih khusus (Hogewoning et al. 2010; Son dan Oh 2013; Snowden, Cope, dan Bugbee 2016; Kang et al. 2013; Kelly et al. 2020). Secara keseluruhan, peta ini menunjukkan hubungan dan perkembangan fokus penelitian serta membantu menentukan lokasi yang sedang naik daun dan pusat pengetahuan teknologi pertanian.



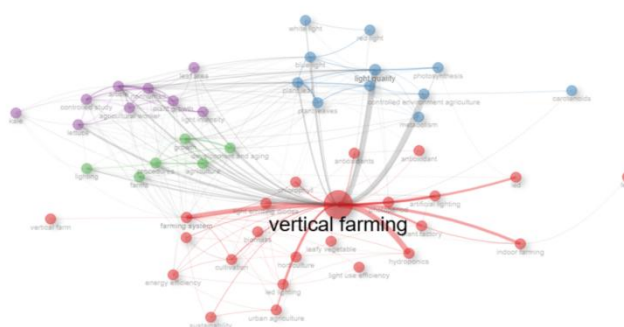
Gambar 3. *Core Sources by Bradford's Law*

Berdasarkan Hukum *Bradford*, grafik sumber inti menunjukkan distribusi jurnal atau sumber publikasi yang paling berkontribusi pada topik penelitian tertentu (Bradford 1934). Hanya sejumlah kecil jurnal yang dianggap sebagai "inti", atau sumber inti, yaitu sumber yang menghasilkan artikel dengan jumlah paling banyak dan paling relevan. Dalam area berwarna abu-abu, jurnal seperti *Agronomy*, *Scientia Horticulturae*, *Frontiers in Plant Science*, *Plants*, dan *Horticulturae* adalah yang paling banyak digunakan sebagai sumber karena frekuensi artikel yang tinggi, mencapai 8-10 artikel per jurnal. Beberapa contoh artikel berpengaruh dari jurnal-jurnal tersebut antara lain kajian pencahayaan antar-tajuk pada tomat di *Agronomy* oleh Paucek et al. (2020), respons selada terhadap LED merah, biru, dan putih di *Scientia Horticulturae* oleh Lin et al. (2013), serta efisiensi sumber daya kemangi di bawah rasio LED merah:biru di *Frontiers in Plant Science* oleh Pennisi et al. (2019b). Seiring bergerak ke kanan, jumlah artikel dari setiap sumber menurun drastis. Hal ini menunjukkan bahwa jurnal di luar zona inti memiliki kontribusi yang lebih rendah dan hanya berfungsi sebagai pelengkap. Menurut pola ini, penelitian di bidang ini bergantung pada publikasi yang berkualitas tinggi yang dipublikasikan secara konsisten dalam beberapa jurnal utama. Grafik ini tidak hanya membantu peneliti memahami sumber mana yang paling berpengaruh, tetapi juga memberikan jalan yang jelas bagi mereka yang ingin mencari literatur utama atau memilih jurnal tujuan untuk publikasi ilmiah.



Gambar 4. *Most Relevant Authors*

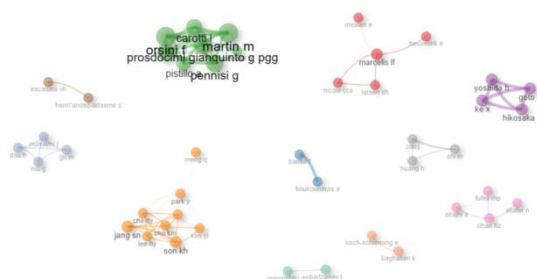
Produksi publikasi dari berbagai sumber menunjukkan tren peningkatan yang konsisten sepanjang 2015-2025. Pada tahap awal, hanya beberapa jurnal seperti HortScience dan Plants yang mulai aktif, sementara sumber lain baru menunjukkan kontribusi signifikan setelah 2018. Mulai 2019, pertumbuhan kumulatif semakin cepat seiring meningkatnya minat penelitian terkait teknologi LED full-spectrum dan fertigasi vertikal. Jurnal Sustainability dan Scientia Horticulturae terlihat mengalami lonjakan paling tajam sejak 2021 hingga 2024, mencerminkan tingginya perhatian pada isu keberlanjutan dan inovasi budidaya (Martin dan Molin 2019; Romeo, Vea, dan Thomsen 2018; Engler dan Krarti 2021; Avgoustaki dan Xydis 2021). Sementara itu, Agronomy dan Frontiers in Plant Science juga menunjukkan peningkatan stabil, menandakan bahwa topik ini diterima luas di berbagai disiplin ilmu tanaman (Avgoustaki dan Xydis 2020; Shamshiri et al. 2018). Secara keseluruhan, grafik memperlihatkan bahwa dekade terakhir menjadi periode ekspansi literatur yang kuat, dengan puncak produksi terjadi menjelang 2024-2025.



Gambar 5. *Co-occurrence Matrix*

Peta jaringan kata kunci tersebut menampilkan bagaimana *vertical farming* menjadi pusat perhatian dalam lanskap penelitian, ditandai dengan node terbesar dan konektivitas yang sangat luas. Kata kunci utama seperti *hydroponics*, *artificial lighting*, *urban agriculture*, dan *sustainability* muncul sebagai klaster merah yang paling dekat, menunjukkan dominasi tema teknologi budidaya modern dan efisiensi

energi dalam diskusi akademik (Orsini et al. 2013; Pinstруп-Andersen 2018; Graamans et al. 2018; Eaves dan Eaves 2018). Sementara itu, klaster biru menyoroti aspek *light quality*, *photosynthesis*, dan metabolisme tanaman, yang menegaskan bahwa penelitian *vertical farming* tidak hanya fokus pada sistem budidaya, tetapi juga pada respons fisiologis tanaman terhadap spektrum cahaya (Folta dan Maruhnich 2007; Darko et al. 2014; Ouzounis, Rosenqvist, dan Ottosen 2015; Bian, Yang, dan Liu 2015; Huché-Thélier et al. 2016). Klaster ungu dan hijau menunjukkan hubungan dengan pertumbuhan tanaman, prosedur penelitian, serta jenis komoditas seperti *lettuce* dan *kale* (Lin et al. 2013; Wang et al. 2016; Kang et al. 2016; Meng, Boldt, dan Runkle 2020; Kopsell, Sams, dan Morrow 2015). Secara keseluruhan, visualisasi ini memperlihatkan bahwa *vertical farming* merupakan topik *multidisipliner*, menghubungkan teknologi pencahayaan, fisiologi tanaman, keberlanjutan, dan sistem produksi pangan urban dalam satu ekosistem penelitian yang saling bertautan (SharathKumar, Heuvelink, dan Marcelis 2020; van Delden et al. 2021).



Gambar 6. *Author Collaboration Matrix*

Jaringan kolaborasi penulis pada visualisasi tersebut menunjukkan adanya beberapa klaster penelitian yang terpisah namun saling memperkuat topik terkait teknologi budidaya modern. Klaster terbesar ditandai oleh penulis seperti Orsini F., Pennisi G., Martin M., dan Carotti I., yang tampak menjadi pusat kolaborasi intensif dalam studi terkait produksi tanaman dan sistem bertingkat (Pennisi et al. 2019a; Pennisi et al. 2020; Orsini et al. 2020; Carotti et al. 2021; Appolloni et al. 2022; Martin dan Molin 2019). Klaster lain dengan ukuran lebih kecil seperti kelompok Marcelis L.F., Yoshida H., serta klaster yang melibatkan Park Y., Jang S.N., dan Choi Y. menunjukkan kolaborasi spesifik dengan fokus yang cenderung lebih sempit, kemungkinan terkait pencahayaan, fisiologi tanaman, atau teknik kultur tertentu (Jin et al. 2021; Kalaitzoglou et al. 2019; Park dan Runkle 2017). Distribusi klaster yang tersebar mengindikasikan bahwa penelitian tentang vertical farming dan teknologi pendukungnya berkembang melalui berbagai kelompok riset independen di berbagai negara. Pola ini menegaskan bahwa bidang ini bersifat multidisipliner dan masih sangat terbuka untuk kolaborasi lintas institusi maupun lintas negara.

Pembahasan

Hasil analisis bibliometrik menunjukkan bahwa sejak tahun 2019, penelitian tentang LED full-spectrum dan fertigasi vertikal telah meningkat pesat. Hal ini disebabkan oleh tren presisi pertanian

global dan sistem produksi pangan berbasis ruang terbatas (Wolfert et al. 2017; Tzounis et al. 2017; Liakos et al. 2018). Peta kata kunci menunjukkan bahwa penelitian tentang hidroponik, pencahayaan buatan, dan perpindahan fokus pada budidaya tegakan (Lakhier et al. 2018; Sambo et al. 2019; Nájera et al. 2023). Jurnal utama seperti *Agronomy*, *Plants*, dan *Scientia Horticulturae* menjadi sumber publikasi utama, menunjukkan bahwa topik ini telah menjadi pusat studi hortikultura kontemporer. Kluster aktif yang dipimpin oleh Orsini, Pennisi, dan Martin terlihat dalam jaringan kolaborasi penulis, yang banyak memberikan kontribusi pada efisiensi pencahayaan dan teknologi budidaya bertingkat (Pennisi et al. 2019b; Pennisi et al. 2019a; Carotti et al. 2021). Selain itu, seperti yang dilaporkan oleh Putri *et al.* (2021), penelitian tentang spektrum cahaya LED dan respon fisiologis tanaman yang terus berkembang. Sejumlah studi menunjukkan bahwa proporsi cahaya biru dalam spektrum putih mengendalikan morfologi dan kandungan pigmen tanaman (Johkan et al. 2010; Cope, Snowden, dan Bugbee 2014; Son dan Oh 2013), cahaya hijau berperan dalam fotomorfogenesis dan penetrasi kanopi (Johkan et al. 2012; Kusuma, Swan, dan Bugbee 2021), sedangkan penambahan far-red mendorong ekspansi daun dan peningkatan biomassa (Meng dan Runkle 2019; Zou et al. 2019; Jin et al. 2021). Intensitas cahaya dan integral cahaya harian (DLI) juga menentukan hasil serta kualitas nutrisi sayuran daun maupun microgreens (Dou et al. 2018; Kelly et al. 2020; Jones-Baumgardt et al. 2019; Ying et al. 2020). Kombinasi spektrum yang tepat juga terbukti meningkatkan kandungan metabolit bernilai gizi pada microgreens dan sayuran khusus (Kyriacou et al. 2016; Brazaitytė et al. 2015; Samuolienė et al. 2019; Kopsell et al. 2014). Selain itu, fertigasi tetes mendukung prinsip presisi nutrisi Supriyanto *et al.* (2023). Manajemen larutan hara dalam sistem tanpa tanah, termasuk pengaturan EC, pH, dan media tanam, menjadi kunci keberhasilan fertigasi pada sistem vertikal (Resh 2013; Jones 2005; Gruda 2019; Savvas dan Gruda 2018). Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa penggabungan teknologi LED dan fertigasi vertikal memiliki potensi besar untuk mengembangkan sistem pertanian berkelanjutan yang hemat ruang, efisien, dan adaptif terhadap kebutuhan pertanian di kota-kota (Specht et al. 2014; Avgoustaki dan Xydis 2020; Kozai 2018).

KESIMPULAN DAN SARAN

Menurut hasil analisis bibliometrik, penelitian fertigasi vertikal dan *LED full-spectrum* telah meningkat secara signifikan dalam sepuluh tahun terakhir—terutama sejak tahun 2019. Peningkatan ini didorong oleh kebutuhan akan teknologi pertanian yang tepat dan sistem produksi pangan yang efisien yang dapat dilaksanakan dalam ruang yang terbatas. Hasil visualisasi kata kunci dan kerja sama penulis menunjukkan bahwa hidroponik, peternakan vertikal, dan pencahayaan buatan menjadi perhatian utama dalam hal fisiologi tanaman, efisiensi energi, dan pengeluaran. Jurnal utama seperti *Agronomy*, *Plants*, dan *Scientia Horticulturae* menjadi sumber rujukan penting, menunjukkan bahwa topik hortikultura modern telah menjadi perhatian global. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan gambaran menyeluruh tentang kemajuan pengetahuan dan struktur penelitian tentang *LED full-spectrum* dan

fertigasi vertikal. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa penggabungan kedua teknologi ini memiliki potensi besar untuk mendukung sistem pertanian berkelanjutan di masa depan.

Penelitian lanjutan perlu difokuskan untuk mengeksplorasi kombinasi optimal antara spektrum LED, intensitas cahaya, dan formulasi nutrisi dalam sistem fertigasi vertikal agar dapat meningkatkan kualitas dan produktivitas tanaman secara lebih presisi. Selain itu, pengembangan model berbasis IoT dan kecerdasan buatan untuk mengatur pencahayaan serta nutrisi secara *real-time* dapat menjadi arah penelitian yang menjanjikan. Studi lebih lanjut juga disarankan untuk memperluas jenis komoditas tanaman yang diteliti, terutama tanaman bernilai ekonomi tinggi dan tanaman fungsional. Kolaborasi antar institusi dan riset lintas disiplin perlu diperkuat untuk mempercepat inovasi serta memastikan teknologi pertanian modern ini dapat diterapkan secara efektif dalam skala urban farming maupun industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Kodmany, K. (2018). The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings*, 8(2), 24.
- Appolloni, E., Pennisi, G., Zauli, I., Carotti, L., Paucek, I., Quaini, S., Orsini, F., & Gianquinto, G. (2022). Beyond Vegetables: Effects of Indoor LED Light on Specialized Metabolite Biosynthesis in Medicinal and Aromatic Plants, Edible Flowers, and Microgreens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(2), 472–487.
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-Tool for Comprehensive Science Mapping Analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.
- Avgoustaki, D. D., & Xydis, G. (2020). How Energy Innovation in Indoor Vertical Farming Can Improve Food Security, Sustainability, and Food Safety? *Advances in Food Security and Sustainability*, 5, 1–51.
- Avgoustaki, D. D., & Xydis, G. (2021). Energy Cost Reduction by Shifting Electricity Demand in Indoor Vertical Farms with Artificial Lighting. *Biosystems Engineering*, 211, 219–229.
- Bantis, F., Smirnakou, S., Ouzounis, T., Koukounaras, A., Ntagkas, N., & Radoglou, K. (2018). Current Status and Recent Achievements in the Field of Horticulture with the Use of Light-Emitting Diodes (LEDs). *Scientia Horticulturae*, 235, 437–451.
- Barbosa, G. L., Gadelha, F. D. A., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G. M., & Halden, R. U. (2015). Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), 6879–6891.
- Beacham, A. M., Vickers, L. H., & Monaghan, J. M. (2019). Vertical Farming: A Summary of Approaches to Growing Skywards. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(3), 277–283.
- Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future Food-Production Systems: Vertical Farming and Controlled-Environment Agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13–26.
- Bian, Z. H., Yang, Q. C., & Liu, W. K. (2015). Effects of Light Quality on the Accumulation of Phytochemicals in Vegetables Produced in Controlled Environments: A Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(5), 869–877.
- Bradford, S. C. (1934). Sources of Information on Specific Subjects. *Engineering*, 137, 85–86.
- Brazaityte, A., Sakalauskiene, S., Samuoliene, G., Jankauskiene, J., Virsile, A., Novickovas, A., Sirtautas, R., et al. (2015). The Effects of LED Illumination Spectra and Intensity on Carotenoid Content in Brassicaceae Microgreens. *Food Chemistry*, 173, 600–606.
- Callon, M., Courtial, J. P., & Laville, F. (1991). Co-Word Analysis as a Tool for Describing the Network of Interactions between Basic and Technological Research: The Case of Polymer Chemistry. *Scientometrics*, 22(1), 155–205.
- Carotti, L., Graamans, L., Puksic, F., Butturini, M., Meinen, E., Heuvelink, E., & Stanghellini, C. (2021). Plant Factories Are Heating Up: Hunting for the Best Combination of Light Intensity, Air Temperature and Root-Zone Temperature in Lettuce Production. *Frontiers in Plant Science*, 11, 592171.
- Cobo, M. J., Lopez-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011a). An Approach for Detecting, Quantifying, and Visualizing the Evolution of a Research Field: A Practical Application to the Fuzzy Sets Theory Field. *Journal of Informetrics*, 5(1), 146–166.
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011b). Science Mapping Software Tools: Review, Analysis, and Cooperative Study among Tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 62(7), 1382–1402.
- Cope, K. R., & Bugbee, B. (2013). Spectral Effects of Three Types of White Light-Emitting Diodes on Plant Growth and Development: Absolute versus Relative Amounts of Blue Light. *HortScience*, 48(4), 504–509.
- Cope, K. R., Snowden, M. C., & Bugbee, B. (2014). Photobiological Interactions of Blue Light and Photosynthetic Photon Flux: Effects of Monochromatic and Broad-Spectrum Light Sources. *Photochemistry and Photobiology*, 90(3), 574–584.
- Darko, E., Heydarizadeh, P., Schoefs, B., & Sabzalian, M. R. (2014). Photosynthesis under Artificial Light: The Shift in Primary and Secondary Metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological*

- Sciences*, 369(1640), 20130243.
- Despommier, D. (2010). *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. New York: Thomas Dunne Books.
- 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.
- Dou, H., Niu, G., Gu, M., & Masabni, J. G. (2018). Responses of Sweet Basil to Different Daily Light Integrals in Photosynthesis, Morphology, Yield, and Nutritional Quality. *HortScience*, 53(4), 496–503.
- Eaves, J., & Eaves, S. (2018). Comparing the Profitability of a Greenhouse to a Vertical Farm in Quebec. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 66(1), 43–54.
- Engler, N., & Krarti, M. (2021). Review of Energy Efficiency in Controlled Environment Agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110786.
- FAO. (2017). *The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Folta, K. M., & Maruhnich, S. A. (2007). Green Light: A Signal to Slow Down or Stop. *Journal of Experimental Botany*, 58(12), 3099–3111.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327(5967), 812–818.
- Gomez, C., & Izzo, L. G. (2018). Increasing Efficiency of Crop Production with LEDs. *AIMS Agriculture and Food*, 3(2), 135–153.
- Graamans, L., Baeza, E., van den Dobbelsteen, A., Tsafaras, I., & Stanghellini, C. (2018). Plant Factories versus Greenhouses: Comparison of Resource Use Efficiency. *Agricultural Systems*, 160, 31–43.
- Gruda, N. S. (2019). Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems. *Agronomy*, 9(6), 298.
- Gupta, S. D. (Ed.). (2017). *Light Emitting Diodes for Agriculture: Smart Lighting*. Singapore: Springer.
- Hirsch, J. E. (2005). An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(46), 16569–16572.
- Hogewoning, S. W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., van Ieperen, W., & Harbinson, J. (2010). Blue Light Dose-Responses of Leaf Photosynthesis, Morphology, and Chemical Composition of *Cucumis sativus* Grown under Different Combinations of Red and Blue Light. *Journal of Experimental Botany*, 61(11), 3107–3117.
- Huche-Thelie, L., Crespel, L., Le Gourrierc, J., Morel, P., Sakr, S., & Leduc, N. (2016). Light Signaling and Plant Responses to Blue and UV Radiations—Perspectives for Applications in Horticulture. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 22–38.
- Incrocci, L., Massa, D., & Pardossi, A. (2017). New Trends in the Fertigation Management of Irrigated Vegetable Crops. *Horticulturae*, 3(2), 37.
- Jin, W., Urbina, J. L., Heuvelink, E., & Marcelis, L. F. M. (2021). Adding Far-Red to Red-Blue Light-Emitting Diode Light Promotes Yield of Lettuce at Different Planting Densities. *Frontiers in Plant Science*, 11, 609977.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S., & Yoshihara, T. (2010). Blue Light-Emitting Diode Light Irradiation of Seedlings Improves Seedling Quality and Growth after Transplanting in Red Leaf Lettuce. *HortScience*, 45(12), 1809–1814.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S., & Yoshihara, T. (2012). Effect of Green Light Wavelength and Intensity on Photomorphogenesis and Photosynthesis in *Lactuca sativa*. *Environmental and Experimental Botany*, 75, 128–133.
- Jones, J. B., Jr. (2005). *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower* (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Jones-Baumgardt, C., Llewellyn, D., Ying, Q., & Zheng, Y. (2019). Intensity of Sole-Source Light-Emitting Diodes Affects Growth, Yield, and Quality of Brassicaceae Microgreens. *HortScience*, 54(7), 1168–1174.
- Kafkafi, U., & Tarchitzky, J. (2011). *Fertigation: A Tool for Efficient Fertilizer and Water Management*. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA) and International Potash Institute (IPI).

- Kalaitzoglou, P., van Ieperen, W., Harbinson, J., van der Meer, M., Martinakos, S., Weerheim, K., Nicole, C. C. S., & Marcelis, L. F. M. (2019). Effects of Continuous or End-of-Day Far-Red Light on Tomato Plant Growth, Morphology, Light Absorption, and Fruit Production. *Frontiers in Plant Science*, 10, 322.
- Kalantari, F., Tahir, O. M., Joni, R. A., & Fatemi, E. (2018). Opportunities and Challenges in Sustainability of Vertical Farming: A Review. *Journal of Landscape Ecology*, 11(1), 35–60.
- Kang, J. H., KrishnaKumar, S., Atulba, S. L. S., Jeong, B. R., & Hwang, S. J. (2013). Light Intensity and Photoperiod Influence the Growth and Development of Hydroponically Grown Leaf Lettuce in a Closed-Type Plant Factory System. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54(6), 501–509.
- Kang, W. H., Park, J. S., Park, K. S., & Son, J. E. (2016). Leaf Photosynthetic Rate, Growth, and Morphology of Lettuce under Different Fractions of Red, Blue, and Green Light from Light-Emitting Diodes (LEDs). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57(6), 573–579.
- Kelly, N., Choe, D., Meng, Q., & Runkle, E. S. (2020). Promotion of Lettuce Growth under an Increasing Daily Light Integral Depends on the Combination of the Photosynthetic Photon Flux Density and Photoperiod. *Scientia Horticulturae*, 272, 109565.
- Kim, H.-H., Goins, G. D., Wheeler, R. M., & Sager, J. C. (2004). Green-Light Supplementation for Enhanced Lettuce Growth under Red- and Blue-Light-Emitting Diodes. *HortScience*, 39(7), 1617–1622.
- Kopsell, D. A., Sams, C. E., Barickman, T. C., & Morrow, R. C. (2014). Sprouting Broccoli Accumulate Higher Concentrations of Nutritionally Important Metabolites under Narrow-Band Light-Emitting Diode Lighting. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 139(4), 469–477.
- Kopsell, D. A., Sams, C. E., & Morrow, R. C. (2015). Blue Wavelengths from LED Lighting Increase Nutritionally Important Metabolites in Specialty Crops. *HortScience*, 50(9), 1285–1288.
- Kozai, T. (2013). Resource Use Efficiency of Closed Plant Production System with Artificial Light: Concept, Estimation and Application to Plant Factory. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 89(10), 447–461.
- Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (Eds.). (2016). *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. London: Academic Press.
- Kozai, T., Fujiwara, K., & Runkle, E. S. (Eds.). (2016). *LED Lighting for Urban Agriculture*. Singapore: Springer.
- Kozai, T. (Ed.). (2018). *Smart Plant Factory: The Next Generation Indoor Vertical Farms*. Singapore: Springer.
- Kusuma, P., Pattison, P. M., & Bugbee, B. (2020). From Physics to Fixtures to Food: Current and Potential LED Efficacy. *Horticulture Research*, 7, 56.
- Kusuma, P., Swan, B., & Bugbee, B. (2021). Does Green Really Mean Go? Increasing the Fraction of Green Photons Promotes Growth of Tomato but Not Lettuce or Cucumber. *Plants*, 10(4), 637.
- Kyriacou, M. C., Roupheal, Y., Di Gioia, F., Kyratzis, A., Serio, F., Renna, M., De Pascale, S., & Santamaria, P. (2016). Micro-Scale Vegetable Production and the Rise of Microgreens. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 103–115.
- Lakhari, I. A., Gao, J., Syed, T. N., Chandio, F. A., & Buttar, N. A. (2018). Modern Plant Cultivation Technologies in Agriculture under Controlled Environment: A Review on Aeroponics. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 338–352.
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors*, 18(8), 2674.
- Lin, K.-H., Huang, M.-Y., Huang, W.-D., Hsu, M.-H., Yang, Z.-W., & Yang, C.-M. (2013). The Effects of Red, Blue, and White Light-Emitting Diodes on the Growth, Development, and Edible Quality of Hydroponically Grown Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 150, 86–91.
- Lotka, A. J. (1926). The Frequency Distribution of Scientific Productivity. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 16(12), 317–323.
- Martin, M., & Molin, E. (2019). Environmental Assessment of an Urban Vertical Hydroponic Farming System in Sweden. *Sustainability*, 11(15), 4124.
- Martin-Martin, A., Orduna-Malea, E., Thelwall, M., & Delgado López-Cózar, E. (2018). Google Scholar, Web of Science, and Scopus: A Systematic Comparison of Citations in 252 Subject Categories. *Journal of Informetrics*, 12(4), 1160–1177.
- Massa, G. D., Kim, H.-H., Wheeler, R. M., & Mitchell, C. A. (2008). Plant Productivity in Response to LED

- Lighting. *HortScience*, 43(7), 1951–1956.
- McCree, K. J. (1972). The Action Spectrum, Absorptance and Quantum Yield of Photosynthesis in Crop Plants. *Agricultural Meteorology*, 9, 191–216.
- Meng, Q., & Runkle, E. S. (2019). Far-Red Radiation Interacts with Relative and Absolute Blue and Red Photon Flux Densities to Regulate Growth, Morphology, and Pigmentation of Lettuce and Basil Seedlings. *Scientia Horticulturae*, 255, 269–280.
- Meng, Q., Boldt, J., & Runkle, E. S. (2020). Blue Radiation Interacts with Green Radiation to Influence Growth and Predominantly Controls Quality Attributes of Lettuce. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 145(2), 75–87.
- Mitchell, C. A., Dzakovich, M. P., Gomez, C., Lopez, R., Burr, J. F., Hernández, R., Kubota, C., et al. (2015). Light-Emitting Diodes in Horticulture. *Horticultural Reviews*, 43, 1–88.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097.
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The Journal Coverage of Web of Science and Scopus: A Comparative Analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213–228.
- Morrow, R. C. (2008). LED Lighting in Horticulture. *HortScience*, 43(7), 1947–1950.
- Najera, C., Gallegos-Cedillo, V. M., Ros, M., & Pascual, J. A. (2023). Role of Spectrum-Light on Productivity, and Plant Quality over Vertical Farming Systems: Bibliometric Analysis. *Horticulturae*, 9(1), 63.
- Olle, M., & Viršile, A. (2013). The Effects of Light-Emitting Diode Lighting on Greenhouse Plant Growth and Quality. *Agricultural and Food Science*, 22(2), 223–234.
- Orsini, F., Kahane, R., Nono-Womdim, R., & Gianquinto, G. (2013). Urban Agriculture in the Developing World: A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(4), 695–720.
- Orsini, F., Pennisi, G., Zulfikar, F., & Gianquinto, G. (2020). Sustainable Use of Resources in Plant Factories with Artificial Lighting (PFALs). *European Journal of Horticultural Science*, 85(5), 297–309.
- Ouzounis, T., Rosenqvist, E., & Ottosen, C.-O. (2015). Spectral Effects of Artificial Light on Plant Physiology and Secondary Metabolism: A Review. *HortScience*, 50(8), 1128–1135.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., et al. (2021). The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews. *BMJ*, 372, n71.
- Park, Y., & Runkle, E. S. (2017). Far-Red Radiation Promotes Growth of Seedlings by Increasing Leaf Expansion and Whole-Plant Net Assimilation. *Environmental and Experimental Botany*, 136, 41–49.
- Park, Y., & Runkle, E. S. (2018). Spectral Effects of Light-Emitting Diodes on Plant Growth, Visual Color Quality, and Photosynthetic Photon Efficacy: White versus Blue plus Red Radiation. *PLoS ONE*, 13(8), e0202386.
- Pattison, P. M., Tsao, J. Y., Brainard, G. C., & Bugbee, B. (2018). LEDs for Photons, Physiology and Food. *Nature*, 563(7732), 493–500.
- Paucek, I., Pennisi, G., Pistillo, A., Appolloni, E., Crepaldi, A., Calegari, B., Spinelli, F., et al. (2020). Supplementary LED Interlighting Improves Yield and Precocity of Greenhouse Tomatoes in the Mediterranean. *Agronomy*, 10(7), 1002.
- Pennisi, G., Orsini, F., Blasioli, S., Cellini, A., Crepaldi, A., Braschi, I., Spinelli, F., et al. (2019a). Resource Use Efficiency of Indoor Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Cultivation as Affected by Red:Blue Ratio Provided by LED Lighting. *Scientific Reports*, 9, 14127.
- Pennisi, G., Blasioli, S., Cellini, A., Maia, L., Crepaldi, A., Braschi, I., Spinelli, F., et al. (2019b). Unraveling the Role of Red:Blue LED Lights on Resource Use Efficiency and Nutritional Properties of Indoor Grown Sweet Basil. *Frontiers in Plant Science*, 10, 305.
- Pennisi, G., Pistillo, A., Orsini, F., Cellini, A., Spinelli, F., Nicola, S., Fernandez, J. A., Crepaldi, A., Gianquinto, G., & Marcelis, L. F. M. (2020). Optimal Light Intensity for Sustainable Water and Energy Use in Indoor Cultivation of Lettuce and Basil under Red and Blue LEDs. *Scientia Horticulturae*, 272, 109508.
- Pinstrup-Andersen, P. (2018). Is It Time to Take Vertical Indoor Farming Seriously? *Global Food Security*, 17, 233–235.
- Putri, A. S., Yushardi, & Supeno (2021). Pengaruh Spektrum dan Intensitas Cahaya LED terhadap Pertumbuhan Tanaman Microgreens Pakcoy (*Brassica rapa* L. subsp. *chinensis* (L)). *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan*

Ilmu Fisika, 7(2), 423–433.

- Resh, H. M. (2013). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower* (7th ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Romeo, D., Vea, E. B., & Thomsen, M. (2018). Environmental Impacts of Urban Hydroponics in Europe: A Case Study in Lyon. *Procedia CIRP*, 69, 540–545.
- Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., et al. (2019). Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontiers in Plant Science*, 10, 923.
- Samuoliene, G., Brazaityte, A., Virsile, A., Miliauskienė, J., Vaatakaite-Kairiene, V., & Duchovskis, P. (2019). Nutrient Levels in Brassicaceae Microgreens Increase under Tailored Light-Emitting Diode Spectra. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1475.
- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of Soilless Culture Technologies in the Modern Greenhouse Industry - A Review. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280–293.
- Shamshiri, R. R., Kalantari, F., Ting, K. C., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C., Ahmad, D., & Shad, Z. M. (2018). Advances in Greenhouse Automation and Controlled Environment Agriculture: A Transition to Plant Factories and Urban Agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(1), 1–22.
- SharathKumar, M., Heuvelink, E., & Marcelis, L. F. M. (2020). Vertical Farming: Moving from Genetic to Environmental Modification. *Trends in Plant Science*, 25(8), 724–727.
- Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., & Roth, B. (2015). LEDs for Energy Efficient Greenhouse Lighting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 139–147.
- Small, H. (1973). Co-Citation in the Scientific Literature: A New Measure of the Relationship between Two Documents. *Journal of the American Society for Information Science*, 24(4), 265–269.
- Smith, H. L., McAusland, L., & Murchie, E. H. (2017). Don't Ignore the Green Light: Exploring Diverse Roles in Plant Processes. *Journal of Experimental Botany*, 68(9), 2099–2110.
- Snowden, M. C., Cope, K. R., & Bugbee, B. (2016). Sensitivity of Seven Diverse Species to Blue and Green Light: Interactions with Photon Flux. *PLoS ONE*, 11(10), e0163121.
- Snyder, H. (2019). Literature Review as a Research Methodology: An Overview and Guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.
- Son, K.-H., & Oh, M.-M. (2013). Leaf Shape, Growth, and Antioxidant Phenolic Compounds of Two Lettuce Cultivars Grown under Various Combinations of Blue and Red Light-Emitting Diodes. *HortScience*, 48(8), 988–995.
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Dordrecht: Springer.
- Specht, K., Siebert, R., Hartmann, I., Freisinger, U. B., Sawicka, M., Werner, A., Thomaier, S., Henckel, D., Walk, H., & Dierich, A. (2014). Urban Agriculture of the Future: An Overview of Sustainability Aspects of Food Production in and on Buildings. *Agriculture and Human Values*, 31(1), 33–51.
- Supriyanto, E., Hasan, A., Prahara, T., & Baramantyo, H. A. (2023). Sistem Berbasis IoT untuk Pemantauan Derajat Keasaman dan Konsentrasi Larutan Nutrisi Tanaman Melon Hidroponik Tipe Drip Fertigation. In *SENTRIKOM* (Vol. 5, pp. 171–177).
- Terashima, I., Fujita, T., Inoue, T., Chow, W. S., & Oguchi, R. (2009). Green Light Drives Leaf Photosynthesis More Efficiently than Red Light in Strong White Light: Revisiting the Enigmatic Question of Why Leaves Are Green. *Plant and Cell Physiology*, 50(4), 684–697.
- Touliatos, D., Dodd, I. C., & McAinsh, M. (2016). Vertical Farming Increases Lettuce Yield per Unit Area Compared to Conventional Horizontal Hydroponics. *Food and Energy Security*, 5(3), 184–191.
- Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). Internet of Things in Agriculture, Recent Advances and Future Challenges. *Biosystems Engineering*, 164, 31–48.
- United Nations. (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- van Delden, S. H., SharathKumar, M., Butturini, M., Graamans, L. J. A., Heuvelink, E., Kacira, M., Kaiser, E., et al. (2021). Current Status and Future Challenges in Implementing and Upscaling Vertical Farming Systems. *Nature Food*, 2(12), 944–956.

- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software Survey: VOSviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538.
- Wang, J., Lu, W., Tong, Y., & Yang, Q. (2016). Leaf Morphology, Photosynthetic Performance, Chlorophyll Fluorescence, Stomatal Development of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Exposed to Different Ratios of Red Light to Blue Light. *Frontiers in Plant Science*, 7, 250.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big Data in Smart Farming - A Review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80.
- Wong, C. E., Teo, Z. W. N., Shen, L., & Yu, H. (2020). Seeing the Lights for Leafy Greens in Indoor Vertical Farming. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 48–63.
- Yan, Z., He, D., Niu, G., Zhou, Q., & Qu, Y. (2020). Growth, Nutritional Quality, and Energy Use Efficiency in Two Lettuce Cultivars as Influenced by White plus Red versus Red plus Blue LEDs. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(2), 33–40.
- Yeh, N., & Chung, J.-P. (2009). High-Brightness LEDs-Energy Efficient Lighting Sources and Their Potential in Indoor Plant Cultivation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2175–2180.
- Ying, Q., Kong, Y., Jones-Baumgardt, C., & Zheng, Y. (2020). Responses of Yield and Appearance Quality of Four Brassicaceae Microgreens to Varied Blue Light Proportion in Red and Blue Light-Emitting Diodes Lighting. *Scientia Horticulturae*, 259, 108857.
- Zhen, S., & van Iersel, M. W. (2017). Far-Red Light Is Needed for Efficient Photochemistry and Photosynthesis. *Journal of Plant Physiology*, 209, 115–122.
- Zhen, S., & Bugbee, B. (2020). Far-Red Photons Have Equivalent Efficiency to Traditional Photosynthetic Photons: Implications for Redefining Photosynthetically Active Radiation. *Plant, Cell & Environment*, 43(5), 1259–1272.
- Zou, J., Zhang, Y., Zhang, Y., Bian, Z., Fanourakis, D., Yang, Q., & Li, T. (2019). Morphological and Physiological Properties of Indoor Cultivated Lettuce in Response to Additional Far-Red Light. *Scientia Horticulturae*, 257, 108725.
- Zupic, I., & Cater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472.