

Analisis Bibliometrik tentang Private 5G untuk Industri Cerdas

Loso Judijanto¹, Ade Suhara²

¹IPOSS Jakarta, Indonesia dan losojudijantobumn@gmail.com

²Universitas Buana Perjuangan Karawang dan ade.suhara@ubpkarawang.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini menyajikan analisis bibliometrik komprehensif terhadap riset mengenai teknologi 5G privat dalam konteks industri cerdas dengan menggunakan data yang bersumber dari basis data Scopus. Tujuannya adalah untuk memetakan struktur intelektual, mengidentifikasi kontributor utama, dan mengeksplorasi tren riset yang sedang berkembang di bidang yang berkembang pesat ini. Kumpulan data publikasi yang relevan dianalisis menggunakan teknik bibliometrik, termasuk kolaborasi penulis, analisis kutipan, dan kemunculan bersama kata kunci, yang didukung oleh visualisasi melalui VOSviewer. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan dalam output penelitian, terutama dalam beberapa tahun terakhir, yang mencerminkan minat akademis dan industri yang semakin besar terhadap 5G pribadi sebagai pendorong utama transformasi industri cerdas. Analisis mengungkapkan bahwa tema penelitian inti berpusat pada infrastruktur 5G, Internet of Things, dan arsitektur jaringan, sementara topik yang sedang berkembang meliputi pembelajaran mesin, transformasi digital, dan manufaktur cerdas. Pola kolaborasi menunjukkan konsentrasi regional, dengan kontribusi kuat dari Eropa dan Tiongkok, di samping interaksi global yang semakin meningkat. Selain itu, studi ini mengidentifikasi pergeseran dari penelitian berfokus pada teknologi menuju pendekatan yang didorong oleh aplikasi dan interdisipliner. Meskipun ada kemajuan ini, beberapa bidang masih kurang dieksplorasi, terutama terkait keberlanjutan, tantangan implementasi, dan kontribusi penelitian dari wilayah berkembang. Secara keseluruhan, studi ini menawarkan wawasan berharga mengenai evolusi penelitian 5G swasta dan menyediakan landasan untuk penyelidikan masa depan dalam mendukung ekosistem industri generasi berikutnya.

Kata kunci: 5G Swasta, Industri Cerdas, Industri 4.0, Analisis Bibliometrik, Internet of Things

ABSTRACT

This study provides a comprehensive bibliometric analysis of research on private 5G technologies within the context of smart industry using data sourced from the Scopus database. The objective is to map the intellectual structure, identify key contributors, and explore emerging research trends in this rapidly evolving field. A dataset of relevant publications was analyzed using bibliometric techniques, including co-authorship, citation analysis, and keyword co-occurrence, supported by visualization through VOSviewer. The results indicate a significant increase in research output, particularly in recent years, reflecting growing academic and industrial interest in private 5G as a key enabler of smart industry transformation. The analysis reveals that core research themes are centered on 5G infrastructure, the Internet of Things, and network architecture, while emerging topics include machine learning, digital transformation, and smart manufacturing. Collaboration patterns show regional concentration, with strong contributions from Europe and China, alongside increasing global interaction. Furthermore, the study identifies a shift from technology-focused research toward application-driven and interdisciplinary approaches. Despite these advancements, several areas remain underexplored, particularly in relation to sustainability, implementation challenges, and research contributions from developing regions. Overall, this study offers valuable insights into the evolution of private 5G research and provides a foundation for future investigations in supporting next-generation industrial ecosystems.

Keywords: Private 5G, Smart Industry, Industry 4.0, Bibliometric Analysis, Internet of Things

PENDAHULUAN

Perkembangan pesat teknologi digital telah mempercepat transformasi sistem industri menuju lingkungan yang lebih cerdas, saling terhubung, dan otonom. Transformasi ini, yang sering dikonseptualisasikan dalam paradigma Industri 4.0, mengintegrasikan sistem siber-fisik,

kecerdasan buatan, analitik big data, dan Internet of Things Industri (IIoT) untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan fleksibilitas dalam proses manufaktur (Papadopoulos et al., 2022; Raj et al., 2023; J. Wang et al., 2022). Dalam konteks ini, infrastruktur konektivitas memainkan peran penting sebagai tulang punggung ekosistem industri cerdas (Coatney, 2019; Hamilton, 2021). Teknologi nirkabel tradisional seperti Wi-Fi dan jaringan seluler publik telah memberikan dukungan dasar; namun, teknologi tersebut seringkali tidak mampu memenuhi persyaratan ketat aplikasi industri, termasuk latensi ultra-rendah, keandalan tinggi, keamanan yang ditingkatkan, dan kinerja deterministik (Djoemadi et al., 2019; Istanti, 2021; Senevirathna et al., 2022). Akibatnya, kemunculan jaringan 5G pribadi diakui sebagai pendorong transformatif bagi operasi industri generasi berikutnya (Mariappan et al., 2022; Shrivastava et al., 2020).

5G pribadi merujuk pada jaringan seluler khusus yang diimplementasikan di dalam organisasi atau lokasi industri tertentu, menawarkan kontrol, penyesuaian, dan keamanan yang lebih besar dibandingkan dengan jaringan 5G publik (Ogbuke et al., 2022; Zhang, 2021). Berbeda dengan solusi konektivitas konvensional, 5G pribadi memungkinkan organisasi menyesuaikan konfigurasi jaringan sesuai kebutuhan operasional spesifik, seperti komunikasi mesin real-time, robotika otonom, dan aplikasi kritis. Kemampuan ini sangat relevan di sektor-sektor seperti manufaktur, logistik, energi, dan pertambangan, di mana kelangsungan operasional dan integritas data sangat esensial. Integrasi 5G pribadi dengan komputasi tepi semakin meningkatkan potensinya dengan memungkinkan pemrosesan data lokal, sehingga mengurangi latensi dan mendukung proses pengambilan keputusan real-time. Akibatnya, 5G pribadi semakin diposisikan sebagai teknologi fondasi dalam mewujudkan ekosistem industri cerdas.

Seiring dengan perkembangan teknologi, minat akademis terhadap 5G pribadi untuk aplikasi industri cerdas telah meningkat secara signifikan selama dekade terakhir. Para akademisi telah mengeksplorasi berbagai dimensi topik ini, termasuk desain arsitektur jaringan, manajemen spektrum, model implementasi, tantangan keamanan siber, dan integrasi dengan teknologi emergensi seperti digital twins dan kecerdasan buatan. Proliferasi penelitian ini mencerminkan tidak hanya relevansi teknologi 5G pribadi tetapi juga pentingnya strategisnya dalam mendukung daya saing industri dan inisiatif transformasi digital. Namun, meskipun literturnya terus bertambah, bidang ini tetap terfragmentasi, dengan kontribusi tersebar di berbagai disiplin ilmu seperti teknik telekomunikasi, sistem informasi, dan manajemen industri.

Mengingat sifat multidisiplin dan evolusi cepat penelitian 5G pribadi, diperlukan pemetaan sistematis dan komprehensif terhadap literatur yang ada. Analisis bibliometrik menawarkan pendekatan metodologis yang kokoh untuk memenuhi kebutuhan ini dengan menganalisis secara kuantitatif pola publikasi, struktur kutipan, dan jaringan kolaborasi dalam suatu domain penelitian. Dengan memanfaatkan basis data akademik berskala besar seperti Scopus, studi bibliometrik dapat mengidentifikasi publikasi berpengaruh, penulis kunci, tema penelitian dominan, dan tren yang muncul. Selain itu, alat visualisasi seperti VOSviewer memudahkan interpretasi hubungan kompleks di antara elemen penelitian, sehingga memungkinkan pemahaman yang lebih jelas mengenai struktur intelektual bidang ini.

Meskipun jumlah publikasi tentang 5G swasta dan industri cerdas terus meningkat, studi bibliometrik komprehensif yang secara khusus berfokus pada persimpangan ini masih terbatas. Tinjauan yang ada sering kali mengadopsi pendekatan kualitatif atau berfokus secara sempit pada aspek teknis, sehingga kurang memiliki perspektif holistik terhadap evolusi lanskap penelitian. Kesenjangan ini menyoroti pentingnya melakukan analisis bibliometrik yang mengintegrasikan

berbagai dimensi analitis, termasuk kolaborasi penulis, analisis kutipan, dan kemunculan bersama kata kunci. Pendekatan semacam itu tidak hanya memberikan wawasan tentang keadaan penelitian saat ini, tetapi juga menyoroti area yang belum dieksplorasi dan arah potensial untuk penyelidikan di masa depan.

Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk melakukan analisis bibliometrik terhadap penelitian 5G swasta dalam konteks industri cerdas menggunakan data dari basis data Scopus. Secara spesifik, tujuan penelitian ini tiga-fold: (1) menganalisis pertumbuhan dan distribusi publikasi sepanjang waktu; (2) mengidentifikasi kontributor utama, institusi, dan negara yang membentuk bidang ini; dan (3) memetakan struktur intelektual dan tema penelitian yang muncul melalui teknik visualisasi menggunakan VOSviewer. Dengan mencapai tujuan-tujuan ini, penelitian ini berupaya memberikan gambaran komprehensif mengenai perkembangan penelitian 5G swasta dan perannya dalam memfasilitasi transformasi industri cerdas.

Temuan penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi baik secara teoritis maupun praktis. Dari perspektif teoritis, penelitian ini memperkaya literatur dengan menawarkan pemahaman terstruktur mengenai evolusi dan domain pengetahuan dalam penelitian 5G swasta. Dari sudut pandang praktis, wawasan yang dihasilkan dapat menjadi acuan bagi pembuat kebijakan, praktisi industri, dan pengembang teknologi dalam merancang strategi untuk adopsi dan implementasi solusi 5G swasta. Selain itu, dengan mengidentifikasi kesenjangan penelitian dan tren yang muncul, penelitian ini memberikan landasan bagi karya ilmiah di masa depan dalam memajukan teknologi industri cerdas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan bibliometrik kuantitatif untuk menganalisis secara sistematis perkembangan penelitian mengenai 5G swasta dalam konteks industri cerdas. Analisis bibliometrik banyak digunakan untuk mengevaluasi hasil ilmiah, mengidentifikasi tren penelitian, dan memetakan struktur intelektual suatu bidang tertentu melalui teknik statistik dan visualisasi. Data untuk penelitian ini diperoleh dari basis data Scopus (Fenerich et al., 2023; Q. Wang et al., 2023), yang diakui sebagai salah satu sumber publikasi akademis yang telah melalui tinjauan sejawat (peer-reviewed) yang paling komprehensif dan andal. Strategi pencarian terstruktur diterapkan dengan menggunakan kata kunci yang relevan seperti "5G swasta," "5G industri," "industri cerdas," dan "Industri 4.0," dikombinasikan dengan operator Boolean untuk memastikan cakupan topik yang komprehensif. Pencarian dibatasi pada publikasi dalam rentang waktu yang ditentukan dan dibatasi pada artikel, makalah konferensi, dan ulasan yang ditulis dalam bahasa Inggris untuk menjaga konsistensi dan kualitas.

Setelah proses pengumpulan data, dokumen yang diperoleh menjalani tahap penyaringan dan pembersihan untuk menghilangkan duplikat, catatan yang tidak relevan, dan metadata yang tidak lengkap. Kumpulan data akhir kemudian diekspor dalam format yang kompatibel (misalnya, CSV atau RIS) untuk analisis bibliometrik lebih lanjut. Beberapa teknik analitis diterapkan, termasuk analisis kolaborasi penulis untuk mengkaji pola kerja sama di antara peneliti dan institusi, analisis sitasi untuk mengidentifikasi publikasi dan penulis berpengaruh, serta analisis ko-kemunculan kata kunci untuk mengeksplorasi tema penelitian utama dan topik yang sedang berkembang. Teknik-teknik ini memungkinkan pemahaman komprehensif terhadap struktur sosial dan intelektual bidang penelitian, memberikan wawasan tentang bagaimana pengetahuan diproduksi dan disebarluaskan dalam domain 5G swasta untuk industri cerdas.

Untuk memvisualisasikan dan menafsirkan jaringan bibliometrik, studi ini menggunakan VOSviewer, perangkat lunak yang banyak digunakan untuk membangun dan memetakan struktur pengetahuan ilmiah (de Tassis Frasson & Neto, 2021; Dzikevics et al., 2021). VOSviewer memungkinkan pembuatan visualisasi jaringan, overlay, dan kepadatan yang menggambarkan hubungan di antara penulis, kata kunci, dan kutipan. Parameter analisis, seperti nilai ambang batas minimum untuk kemunculan dan kutipan, ditetapkan dengan cermat untuk memastikan hasil yang bermakna dan dapat diinterpretasikan. Melalui visualisasi ini, penelitian ini mengidentifikasi kelompok penelitian yang dominan, tren temporal, dan bidang minat yang sedang berkembang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Author Collaboration Analysis

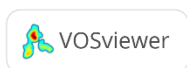
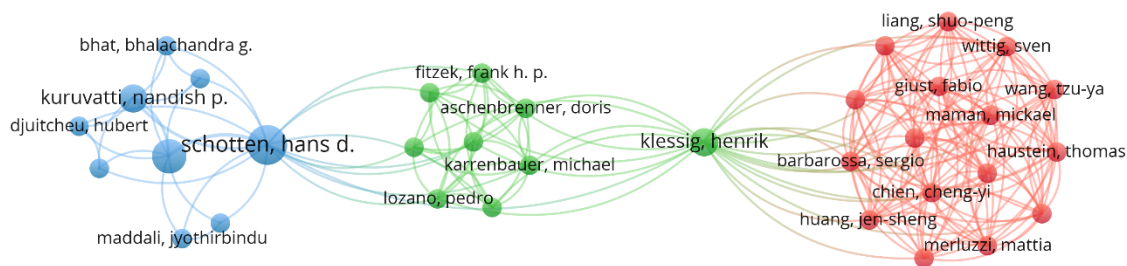


Figure 1. Author Visualization

Source: Data Analysis

Gambar 1 menyajikan visualisasi kolaborasi penulis, yang memperlihatkan struktur kolaboratif dalam bidang penelitian 5G swasta dan industri cerdas. Jaringan ini terbagi dengan jelas menjadi beberapa kluster, yang menandakan adanya kelompok-kelompok penelitian terpisah yang saling terhubung melalui penulis-penulis penghubung utama. Kluster biru, yang berpusat pada Schotten, Hans D., menunjukkan jaringan kolaborasi yang kuat dan mapan, yang mengindikasikan peran fundamental dalam bidang tersebut. Sementara itu, kluster hijau, yang mencakup penulis seperti Klessig, Henrik dan Aschenbrenner, Doris, bertindak sebagai kelompok perantara yang menghubungkan aliran penelitian sebelumnya dengan perkembangan terbaru. Kluster merah, yang mencakup penulis seperti Maman, Mickael dan Giulio, Fabio, tampak lebih padat dan saling terhubung, mencerminkan komunitas penelitian yang lebih baru dan berkembang pesat dengan intensitas kolaborasi yang tinggi. Kehadiran penulis penghubung seperti Klessig, Henrik menyoroti peran strategis mereka dalam menjembatani komunitas penelitian yang berbeda, memfasilitasi

penyebaran pengetahuan di seluruh kluster. Secara keseluruhan, visualisasi ini menunjukkan bahwa meskipun bidang ini bersifat kolaboratif, namun masih agak tersegmentasi, dengan integrasi yang muncul di antara kelompok-kelompok penelitian seiring dengan topik 5G pribadi yang terus mendapatkan perhatian global.

B. Country Contribution Analysis

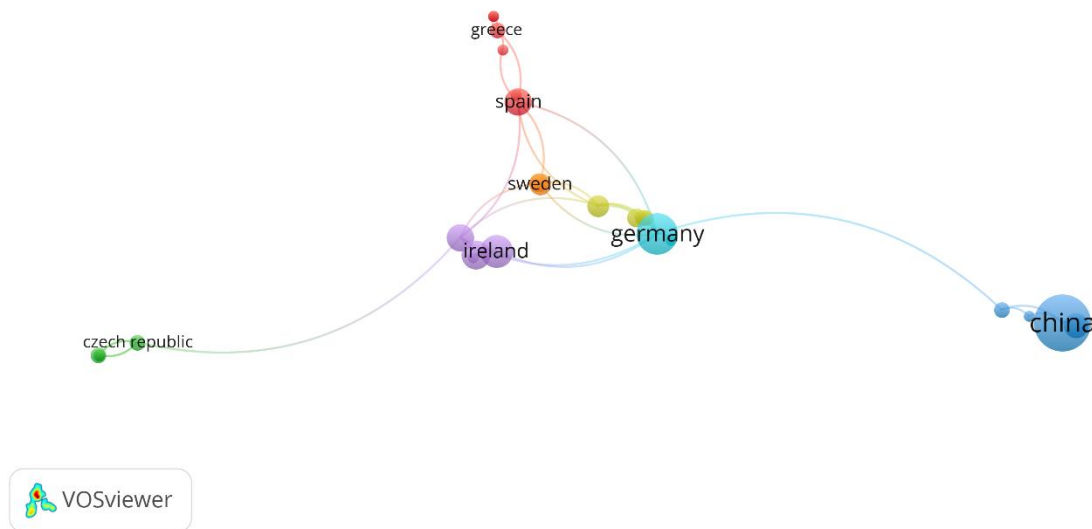


Figure 2. Country Visualization
 Source: Data Analysis

Gambar 2 menggambarkan jaringan kolaborasi antarnegara dalam penelitian 5G swasta dan industri cerdas, yang menyoroti distribusi global serta interaksi di antara negara-negara yang berkontribusi. Visualisasi tersebut menunjukkan bahwa Tiongkok tampil sebagai negara yang dominan dan sangat produktif, yang ditandai dengan ukuran simpul yang besar, yang mencerminkan volume publikasi yang signifikan. Namun, koneksi langsungnya yang relatif terbatas mengindikasikan bahwa kolaborasinya lebih selektif atau terkonsentrasi secara regional. Sebaliknya, Jerman memainkan peran penghubung sentral dalam jaringan tersebut, menghubungkan berbagai negara Eropa seperti Swedia, Spanyol, dan Irlandia, yang menunjukkan kolaborasi regional yang kuat dan pertukaran pengetahuan di Eropa. Negara-negara seperti Spanyol dan Yunani membentuk kluster yang lebih kecil namun saling terhubung erat, yang mencerminkan pola kolaborasi lokal. Sementara itu, kehadiran negara-negara seperti Republik Ceko di pinggiran menunjukkan partisipasi yang sedang berkembang dengan integrasi terbatas ke dalam jaringan yang lebih luas. Secara keseluruhan, visualisasi ini mengungkapkan bahwa meskipun penelitian tentang 5G swasta tersebar secara global, penelitian tersebut masih ditandai oleh pusat-pusat kolaborasi regional, dengan Eropa bertindak sebagai kluster yang sangat terhubung dan Tiongkok sebagai kontributor utama namun relatif independen.

C. Citation Analysis: Influential Publications

Tabel 1. Literatur yang Paling Berpengaruh

Referensi	Penulis dan Tahun	Judul
261	Allam, Z., Jones, D.S. (20210)	Future (post-COVID) digital, smart and sustainable cities in the wake of 6G: Digital twins, immersive realities and new urban economies
123	O'Connell, E., Moore, D., Newe, T. (2020)	Challenges Associated with Implementing 5G in Manufacturing
77	Ordonez-Lucena, J., Chavarria, J.F., Contreras, L.M., Pastor, A. (2019)	The use of 5G Non-Public Networks to support Industry 4.0 scenarios
72	<u>Rostami, A. (2019)</u>	Private 5G networks for vertical industries: Deployment and operation models
60	Bajracharya, R., Shrestha, R., Jung, H. (2020)	Future is unlicensed: Private 5g unlicensed network for connecting industries of future
44	Trakadas, P., Sarakis, L., Giannopoulos, A., ... Gonzalez-Diaz, S., Conceição, L. (2021)	A cost-efficient 5g non-public network architectural approach: Key concepts and enablers, building blocks and potential use cases
42	Visan, M., Negrea, S.L., Mone, F. (2021)	Towards intelligent public transport systems in Smart Cities; Collaborative decisions to be made
39	Dua, A., Dutta, A., Zaman, N., Kumar, N. (2020)	Blockchain-based E-waste management in 5G smart communities
38	Alamouti, S.M., Arjomandi, F., Burger, M. (2022)	Hybrid Edge Cloud: A Pragmatic Approach for Decentralized Cloud Computing
35	Hariyani, D., Hariyani, P., Mishra, S. (2025)	Digital technologies for the Sustainable Development Goals

Source: Scopus, 2026

Tabel 1 menyortir literatur paling berpengaruh di bidang 5G privat dan industri cerdas, yang menunjukkan konsentrasi yang kuat pada kontribusi-kontribusi mendasar dan interdisipliner. Karya yang paling sering dikutip oleh Allam dan Jones (2021) mencerminkan integrasi teknologi canggih seperti digital twins dan sistem imersif dalam ekosistem kota cerdas masa depan, yang menunjukkan bahwa penelitian 5G privat terkait erat dengan agenda transformasi digital yang lebih luas. Studi-studi awal yang sangat berpengaruh, seperti Ordonez-Lucena dkk. (2019) dan Rostami (2019), memainkan peran penting dalam membangun fondasi teknis dan operasional jaringan 5G non-publik, terutama dalam mendukung skenario Industri 4.0 dan industri vertikal. Sementara itu, karya seperti O'Connell dkk. (2020) dan Bajracharya dkk. (2020) menekankan tantangan praktis dan model implementasi yang muncul, menyortir transisi dari kerangka konseptual ke implementasi di dunia nyata. Kontribusi yang lebih baru, termasuk Trakadas dkk. (2021) dan Alamouti dkk. (2022), menggambarkan pergeseran menuju optimasi arsitektur, integrasi komputasi tepi, dan desain jaringan yang efisien biaya. Selain itu, adanya studi terkait keberlanjutan, blockchain, dan komunitas cerdas menunjukkan cakupan penelitian yang semakin luas yang melampaui aspek teknis semata, dengan memasukkan dimensi lingkungan dan sosial. Secara keseluruhan, tabel tersebut menunjukkan bahwa bidang ini berkembang dari konsep jaringan dasar menuju arah penelitian yang lebih terintegrasi, didorong oleh aplikasi, dan berorientasi pada keberlanjutan.

D. Keyword Co-Occurrence and Research Themes

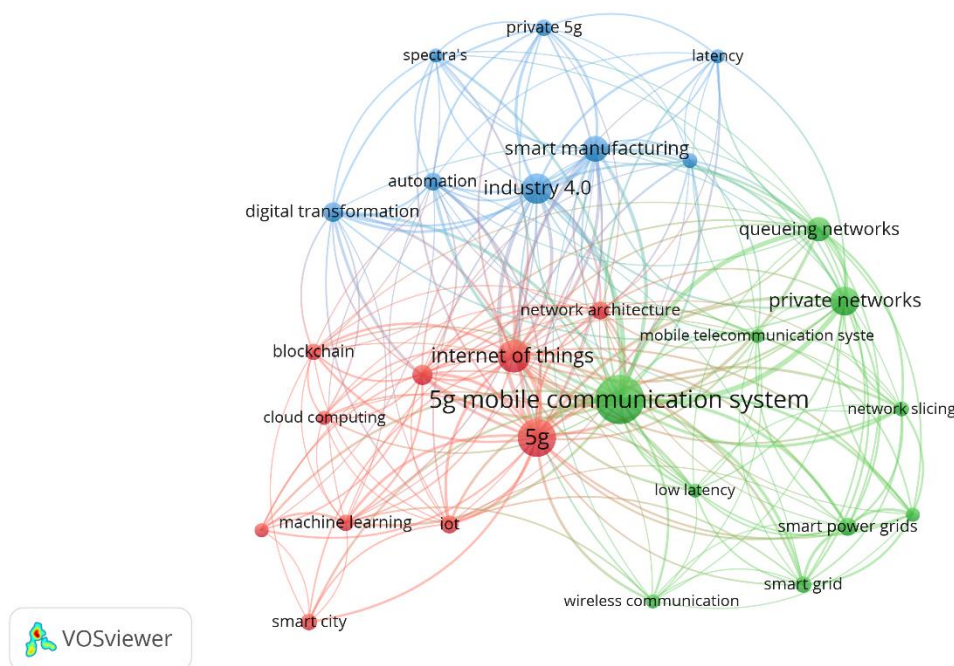


Figure 3. Network Visualization

Source: Data Analysis

Gambar 3 menyajikan jaringan ko-kemunculan kata kunci, yang menggambarkan struktur intelektual dan hubungan tematik dalam penelitian 5G privat dan industri cerdas. Visualisasi ini memperlihatkan beberapa kelompok utama, yang masing-masing mewakili tema-tema penelitian yang saling terkait. Kelompok merah berpusat pada teknologi inti seperti “5G,” “internet of things,” dan “machine learning,” yang menyoroti peran mendasar dari teknologi-teknologi ini dalam mewujudkan sistem industri cerdas. Kluster hijau menekankan topik-topik yang berorientasi pada aplikasi, termasuk “jaringan pribadi,” “pembagian jaringan,” dan “jaringan pintar,” yang menunjukkan fokus yang kuat pada penerapan praktis dan optimasi infrastruktur. Sementara itu, kluster biru, yang mencakup istilah seperti “industri 4.0,” “manufaktur pintar,” dan “transformasi digital,” mencerminkan konteks industri yang lebih luas di mana 5G pribadi beroperasi. Interkoneksi yang padat di antara kluster-kluster ini menunjukkan tingkat integrasi yang tinggi antara pengembangan teknologi dan penerapan industri. Selain itu, kata kunci yang sedang berkembang seperti “blockchain” dan “komputasi awan” menandakan perluasan bidang ini menuju ekosistem teknologi yang lebih canggih dan hibrida. Secara keseluruhan, jaringan ini menunjukkan bahwa penelitian 5G pribadi bersifat sangat interdisipliner, menjembatani teknologi komunikasi inti dengan sistem cerdas dan kasus penggunaan industri di dunia nyata.

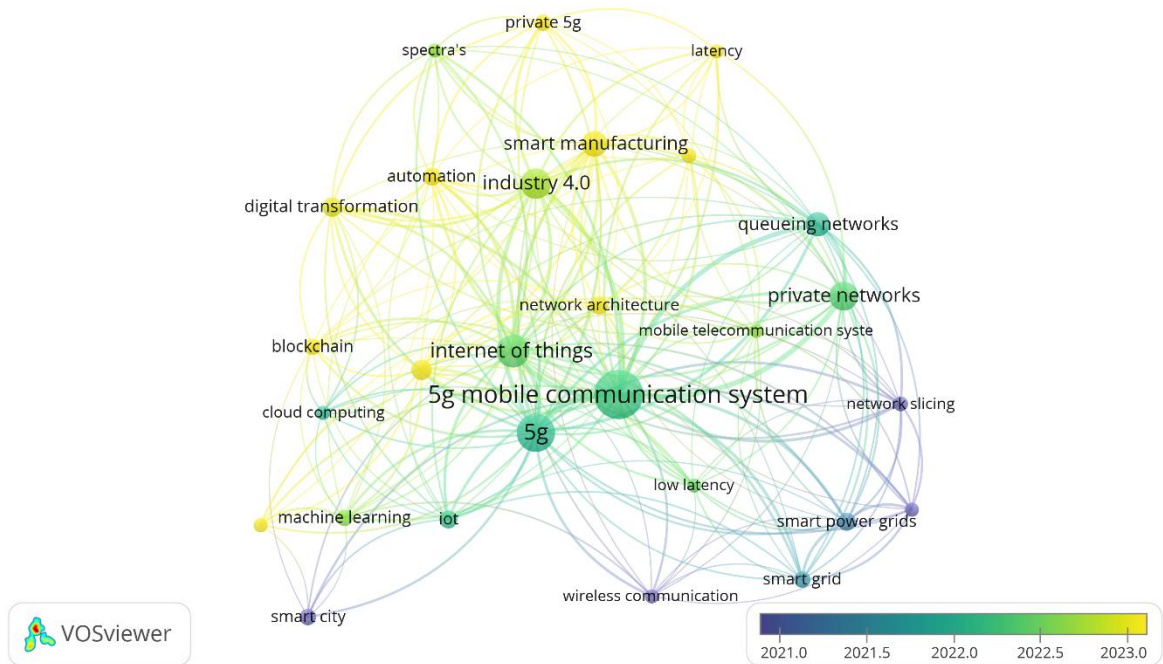


Figure 4. Overlay Visualization

Source: Data Analysis

Gambar 4 menyajikan visualisasi overlay, yang menggambarkan perkembangan tematik penelitian dalam bidang 5G swasta dan industri cerdas berdasarkan tahun publikasi rata-rata dari kata kunci. Gradasi warna, mulai dari biru (studi awal) hingga kuning (studi terbaru), menunjukkan pergeseran yang jelas dalam fokus penelitian seiring berjalannya waktu. Penelitian awal, yang diwakili oleh nuansa biru, berfokus pada topik-topik dasar seperti “komunikasi nirkabel,” “pembagian jaringan,” dan “jaringan pintar,” yang menandakan upaya awal untuk membangun infrastruktur teknis dan kemampuan jaringan. Seiring perkembangan bidang ini, simpul berwarna hijau seperti “jaringan pribadi,” “sistem komunikasi seluler 5G,” dan “internet of things” mencerminkan fase integrasi dan pengembangan aplikasi. Topik-topik yang lebih baru, yang ditandai dengan warna kuning, meliputi “manufaktur cerdas,” “transformasi digital,” “pembelajaran mesin,” dan “industri 4.0,” yang menunjukkan penekanan yang semakin besar pada solusi yang cerdas, berbasis data, dan berorientasi pada aplikasi. Transisi ini menunjukkan bahwa bidang penelitian ini berkembang dari fokus yang berpusat pada teknologi menuju aplikasi interdisipliner yang lebih canggih yang mengintegrasikan kecerdasan buatan dan otomatisasi dalam lingkungan industri.

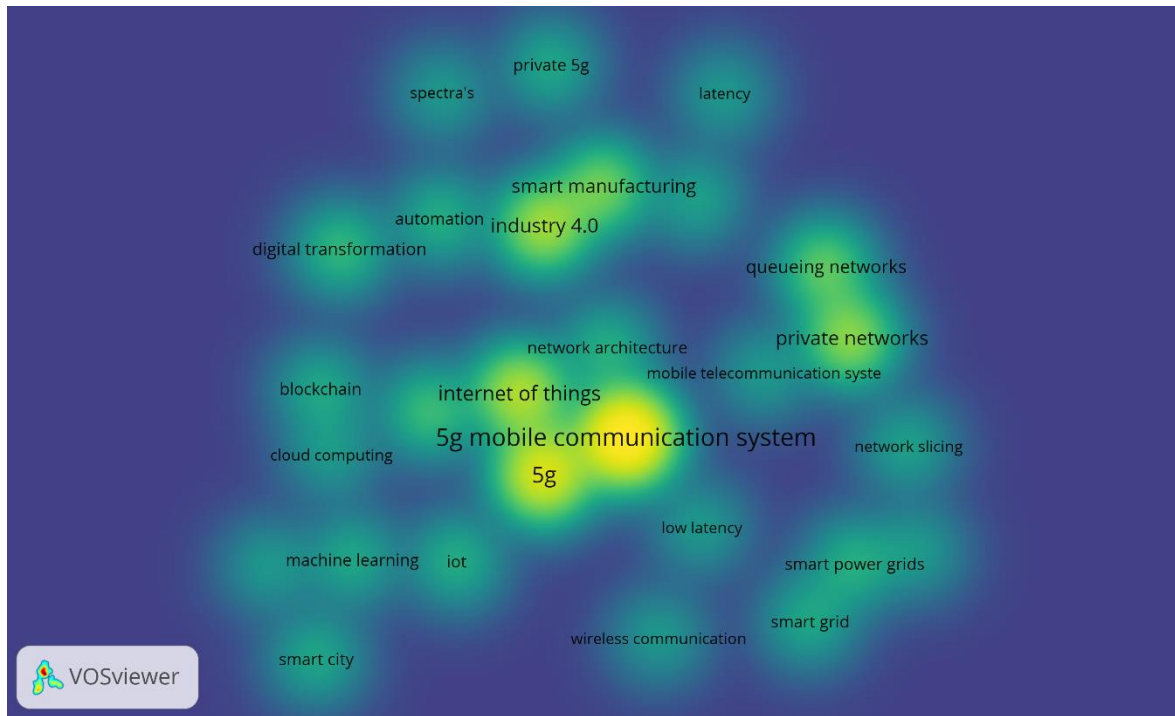


Figure 5. Density Visualization

Source: Data Analysis

Gambar 5 menyajikan visualisasi kepadatan kemunculan kata kunci, yang menyoroti bidang-bidang yang paling intensif diteliti dalam ranah 5G swasta dan industri cerdas. Wilayah berwarna kuning yang lebih cerah menandakan topik dengan kepadatan tinggi, dengan “5G” dan “sistem komunikasi seluler 5G” muncul sebagai inti utama lanskap penelitian, yang mencerminkan peran dominan keduanya dalam literatur. Di sekitarnya terdapat “internet of things” dan “arsitektur jaringan,” yang semakin menekankan integrasi yang kuat antara infrastruktur konektivitas dan ekosistem perangkat cerdas. Area dengan kepadatan sedang, yang ditampilkan dalam warna hijau, mencakup tema seperti “jaringan pribadi,” “manufaktur cerdas,” dan “industri 4.0,” yang menunjukkan aliran penelitian yang sudah mapan namun masih terus berkembang. Sebaliknya, topik yang kurang padat dan lebih pinggiran seperti “blockchain,” “machine learning,” dan “smart city” menandakan bidang yang sedang berkembang atau niche yang belum mencapai tingkat konsentrasi akademis yang sama. Secara keseluruhan, visualisasi ini menunjukkan bahwa bidang ini sangat berpusat pada teknologi komunikasi inti sambil secara bertahap meluas ke aplikasi interdisipliner yang lebih luas dalam sistem industri cerdas dan berkelanjutan.

Discussion

Temuan analisis bibliometrik ini menunjukkan bahwa penelitian mengenai 5G swasta dalam bidang industri cerdas telah mengalami pertumbuhan dan diversifikasi yang signifikan selama beberapa tahun terakhir. Meningkatnya jumlah publikasi dan perluasan kelompok penelitian menunjukkan bahwa 5G swasta tidak lagi dipandang semata-mata sebagai inovasi telekomunikasi, melainkan sebagai pendorong strategis transformasi industri. Analisis kolaborasi penulis dan negara menunjukkan bahwa meskipun bidang ini tersebar secara global, namun masih ditandai oleh konsentrasi regional, terutama di wilayah-wilayah yang maju secara teknologi seperti Eropa dan Tiongkok. Hal ini menunjukkan bahwa akses ke infrastruktur, pendanaan, dan ekosistem

industri memainkan peran penting dalam membentuk produktivitas penelitian dan pola kolaborasi. Pada saat yang sama, kehadiran penulis dan negara penghubung menyoroti integrasi bertahap dari komunitas penelitian yang terfragmentasi (Jia et al., 2021; Liu et al., 2017; Puhovichova & Jankelova, 2020).

Dari perspektif struktur intelektual, visualisasi ko-kemunculan kata kunci dan jaringan menegaskan bahwa penelitian 5G swasta bersifat sangat interdisipliner, menggabungkan unsur-unsur teknik komunikasi, sistem informasi, dan aplikasi industri. Tema inti seperti "5G," "internet of things," dan "arsitektur jaringan" membentuk tulang punggung teknologi bidang ini, sementara konsep seperti "industri 4.0," "manufaktur cerdas," dan "transformasi digital" mencerminkan evolusi yang berorientasi pada aplikasi. Keselarasan ini menunjukkan bahwa pengembangan 5G swasta terkait erat dengan upaya digitalisasi industri yang lebih luas. Selain itu, hubungan yang kuat di antara kata kunci menunjukkan bahwa penelitian tidak terisolasi, melainkan konvergen menuju solusi terintegrasi yang menggabungkan konektivitas, otomatisasi, dan pemrosesan data cerdas (Jia et al., 2021; Siriwardhana et al., 2019).

Analisis temporal yang disediakan oleh visualisasi overlay menyoroti pergeseran yang jelas dalam fokus penelitian dari teknologi dasar menuju topik yang lebih canggih dan berorientasi aplikasi. Studi awal berfokus pada teknologi pendukung seperti komunikasi nirkabel dan pemotongan jaringan (network slicing), yang meletakkan dasar bagi jaringan pribadi yang andal dan skalabel. Penelitian terbaru lebih menekankan pada sistem cerdas, termasuk pembelajaran mesin, komputasi tepi, dan kembaran digital, yang mencerminkan meningkatnya kompleksitas lingkungan industri cerdas. Transisi ini menggambarkan kematangan bidang ini, di mana fokusnya bergeser dari pengembangan infrastruktur menuju penciptaan nilai melalui pengambilan keputusan berbasis data dan optimasi sistem. Hal ini juga menunjukkan bahwa penelitian di masa depan kemungkinan akan terus mengintegrasikan teknologi-teknologi yang sedang berkembang untuk meningkatkan kemampuan jaringan 5G pribadi.

Meskipun ada kemajuan ini, analisis juga mengungkap beberapa celah dan peluang untuk penelitian di masa depan. Kepadatan topik yang relatif lebih rendah seperti keberlanjutan, blockchain, dan kota pintar menunjukkan bahwa bidang-bidang ini masih kurang dieksplorasi dalam konteks 5G pribadi. Selain itu, partisipasi yang terbatas dari negara-negara berkembang menyoroti ketimpangan dalam kontribusi penelitian global, yang dapat menghambat adopsi luas teknologi 5G pribadi. Oleh karena itu, studi di masa depan harus berfokus pada perluasan penelitian dalam konteks geografis yang beragam, serta mengeksplorasi tantangan implementasi praktis, kerangka kerja regulasi, dan pertimbangan biaya. Dengan mengatasi kesenjangan ini, para peneliti dapat berkontribusi pada pemahaman yang lebih inklusif dan komprehensif tentang bagaimana 5G pribadi dapat mendukung ekosistem industri pintar yang berkelanjutan dan dapat diskalakan.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah secara sistematis mengkaji perkembangan riset 5G swasta dalam bidang industri cerdas melalui pendekatan bibliometrik. Temuan menunjukkan bahwa bidang ini telah mengalami pertumbuhan pesat dan ditandai oleh integrasi interdisipliner yang semakin meningkat, yang menggabungkan teknologi komunikasi dengan aplikasi industri. Tema-tema penelitian utama telah berkembang dari aspek-aspek dasar infrastruktur 5G menuju bidang yang lebih maju dan berorientasi pada aplikasi, seperti

manufaktur cerdas, transformasi digital, dan sistem cerdas. Analisis kolaborasi menunjukkan bahwa meskipun penelitian tersebar secara global, namun tetap terkonsentrasi di wilayah-wilayah tertentu, yang menyoroti pentingnya kesiapan teknologi dan dukungan kelembagaan.

Selain itu, studi ini mengidentifikasi transisi yang jelas dalam fokus penelitian, yang mencerminkan kematangan bidang ini dan keselarasan dengan tujuan Industri 4.0. Pada saat yang sama, beberapa kesenjangan penelitian tetap ada, terutama dalam integrasi keberlanjutan, implementasi di dunia nyata, dan partisipasi global yang lebih luas. Temuan ini menyarankan bahwa penelitian di masa depan harus menekankan strategi penerapan praktis, inovasi lintas disiplin, dan kolaborasi inklusif antarwilayah. Secara keseluruhan, studi ini berkontribusi pada pemahaman yang lebih mendalam tentang lanskap intelektual penelitian 5G swasta dan memberikan wawasan strategis bagi akademisi, praktisi industri, dan pembuat kebijakan dalam memajukan ekosistem industri cerdas.

REFERENSI

- Coatney, K. (2019). Cyber-physical smart manufacturing systems: sustainable industrial networks, cognitive automation, and big data-driven innovation. *Economics, Management, and Financial Markets*. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=818553>
- de Tassis Frasson, J. M. O., & Neto, M. G. (2021). Breve análise bibliométrica das produções científicas sobre privacidade e leis de proteção de dados pessoais/Brief bibliometric analysis of scientific productions on privacy and personal data protection laws. *ID on Line. Revista de Psicologia*, 15(56), 1–22.
- Djoemadi, F. R., Setiawan, M., Noermijati, N., & Irawanto, D. W. (2019). The effect of work satisfaction on employee engagement. *Polish Journal of Management Studies*, 19(2), 101–111. <https://doi.org/10.17512/pjms.2019.19.2.08>
- Dzikevics, M., Jaunzems, D., & Terauds, M. (2021). Bibliometric Analysis of the Solar Thermal System Control Methods. *Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti*, 25(1), 1114–1127.
- Fenerich, F. C., Guedes, K., Cordeiro, N. H. M., Lima, G. de S., & De Oliveira, A. L. G. (2023). Energy efficiency in industrial environments: an updated review and a new research agenda. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, 14(3), 3319–3347. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i3.1802>
- Hamilton, S. (2021). Real-time big data analytics, sustainable Industry 4.0 wireless networks, and Internet of Things-based decision support systems in cyber-physical smart manufacturing. *Economics, Management, and Financial Markets*. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=963244>
- Istanti, L. N. (2021). Rural Tourism Perspectives on Digital Innovation: Small Enterprises in Indonesia. ... *Business Innovation Sustainability and Technology* <https://www.atlantis-press.com/proceedings/bistic-21/125963883>
- Jia, W., Xie, Y., Zhao, Y., Yao, K., Shi, H., & ... (2021). Research on disruptive technology recognition of China's electronic information and communication industry based on patent influence. ... *Information Management* <https://www.igi-global.com/article/research-on-disruptive-technology-recognition-of-chinas-electronic-information-and-communication-industry-based-on-patent-influence/272664>
- Liu, J., Wan, J., Zeng, B., Wang, Q., & ... (2017). A scalable and quick-response software defined vehicular network assisted by mobile edge computing. *IEEE Communications* <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7981532/>
- Mariappan, J., Krishnan, C., & ... (2022). Theoretical Perspective of Role of Technology on Business Environment. ... *Business*. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=ufxZEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA269&dq=the+impact+of+5g+technology+in+business+and+management&ots=d3bPK_qtjY&sig=640u7tIvyhwclDyCBw6FE1CXKMQ
- Ogbuke, N. J., Yusuf, Y. Y., Dharmas, K., & ... (2022). Big data supply chain analytics: ethical, privacy and security challenges posed to business, industries and society. ... *Planning & Control*.

- <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810764>
- Papadopoulos, T., Singh, S. P., Spanaki, K., & ... (2022). Towards the next generation of manufacturing: implications of big data and digitalization in the context of industry 4.0. ... *Planning & Control*. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810767>
- Puhovichova, D., & Jankelova, N. (2020). Changes of human resource management in the context of impact of the fourth industrial revolution. *Industry 4.0*. <https://stumejournals.com/journals/i4/2020/3/138>
- Raj, R., Kumar, V., & Verma, P. (2023). Big data analytics in mitigating challenges of sustainable manufacturing supply chain. *Operations Management Research*, 16(4), 1886–1900.
- Senevirathna, T., La, V. H., Marchal, S., Siniarski, B., & ... (2022). A survey on XAI for beyond 5G security: technical aspects, use cases, challenges and research directions. *ArXiv Preprint ArXiv* <https://arxiv.org/abs/2204.12822>
- Shrivastava, G., Le, D. N., & Sharma, K. (2020). *Cryptocurrencies and blockchain technology applications*. books.google.com. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=hmjjDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=the+impact+of+5g+technology+in+business+and+management&ots=CJWQ3QVca4&sig=ibLE7uqNBM-nBz-k99AHSLqJNgc>
- Siriwardhana, Y., Porambage, P., & ... (2019). Micro-operator driven local 5G network architecture for industrial internet. *2019 IEEE Wireless* <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8885900/>
- Wang, J., Xu, C., Zhang, J., & Zhong, R. (2022). Big data analytics for intelligent manufacturing systems: A review. *Journal of Manufacturing Systems*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612521000601>
- Wang, Q., Zhang, C., & Li, R. (2023). Plastic pollution induced by the COVID-19: Environmental challenges and outlook. *Environmental Science and Pollution Research*, 40405–40426. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24901-w>
- Zhang, C. (2021). Intelligent Internet of things service based on artificial intelligence technology. *2021 IEEE 2nd International Conference on Big Data* <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9390061/>