

## Dampak IoT pada Efisiensi Otomasi Pabrik: Studi Bibliometrik pada Penelitian Produktivitas Industri

Loso Judijanto<sup>1</sup>, Nanny Mayasari<sup>2</sup>, Chevy Herli Sumerli A.<sup>3</sup>, Ainil Mardiah<sup>4</sup>

<sup>1</sup>IPOSS Jakarta, Indonesia dan [losojudijantobumn@gmail.com](mailto:losojudijantobumn@gmail.com)

<sup>2</sup>Universitas Nusa Cendana dan [nanny.mayasari@gmail.com](mailto:nanny.mayasari@gmail.com)

<sup>3</sup>Universitas Pasundan dan [chevy.herlys@unpas.ac.id](mailto:chevy.herlys@unpas.ac.id)

<sup>4</sup>Prodi Kewirausahaan, Universitas Adzkia dan [ainilmardiah@adzkia.ac.id](mailto:ainilmardiah@adzkia.ac.id)

---

### ABSTRAK

---

Studi ini mengkaji dampak penerapan Internet of Things (IoT) dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas di sektor industri, dengan fokus pada konsep Industry 4.0. Melalui analisis bibliometrik terhadap literatur terkini, penelitian ini mengidentifikasi tren utama, tantangan, dan arah penelitian masa depan terkait dengan teknologi IoT. Temuan menunjukkan bahwa meskipun terdapat potensi besar untuk meningkatkan kinerja operasional, tantangan seperti keamanan data, biaya implementasi, dan isu keberlanjutan harus diatasi. Penelitian ini menekankan pentingnya integrasi berbagai teknologi canggih dan perlunya penelitian lebih lanjut untuk memahami dampak sosial dan ekonomi dari transformasi digital ini. Dengan memahami tantangan dan peluang yang ada, perusahaan dapat lebih baik memanfaatkan teknologi IoT untuk mencapai efisiensi yang lebih besar dan keberlanjutan dalam operasi mereka.

**Kata Kunci:** *Internet of Things, Industry 4.0, Efisiensi, Analisis Bibliometrik, VOSviewer*

### ABSTRACT

---

This study examines the impact of implementing the Internet of Things (IoT) on enhancing efficiency and productivity in the industrial sector, with a focus on the concept of Industry 4.0. Through a bibliometric analysis of recent literature, this research identifies key trends, challenges, and future research directions related to IoT technology. The findings indicate that while there is significant potential to improve operational performance, challenges such as data security, implementation costs, and sustainability issues must be addressed. This research emphasizes the importance of integrating various advanced technologies and the need for further investigation into the social and economic impacts of this digital transformation. By understanding the existing challenges and opportunities, companies can better leverage IoT technology to achieve greater efficiency and sustainability in their operations.

**Keywords:** *Internet of Things, Industry 4.0, Efficiency, Bibliometrics Analysis, VOSviewer*

---

### PENDAHULUAN

Industri 4.0 telah membawa transformasi besar dalam dunia manufaktur, terutama melalui integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT). Peran IoT dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas otomatisasi pabrik tidak bisa diabaikan. IoT memungkinkan pengumpulan dan pertukaran data secara real-time antara berbagai perangkat dan mesin, yang meminimalkan keterlibatan manusia dan meningkatkan presisi operasional. Dalam konteks ini, IoT telah menjadi fondasi bagi otomatisasi yang cerdas dan terhubung, memungkinkan pabrik untuk merespons kebutuhan produksi dengan lebih cepat dan efisien. Transformasi ini secara signifikan meningkatkan produktivitas serta mempercepat proses industrialisasi. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa adopsi IoT dalam otomasi pabrik memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi operasional, terutama di industri dengan skala produksi besar (Zhou et al., 2019).

Di berbagai belahan dunia, perusahaan manufaktur berusaha untuk mengoptimalkan produktivitas melalui penerapan teknologi otomatisasi yang didukung oleh IoT. Teknologi ini memungkinkan mesin dan perangkat saling berkomunikasi, menghasilkan jaringan yang mendukung peningkatan efisiensi dan pengurangan kesalahan manusia. Otomatisasi berbasis IoT juga telah memungkinkan pabrik untuk melakukan pemeliharaan prediktif, yang sangat mengurangi downtime mesin serta memperpanjang masa pakai peralatan (X. Xu et al., 2018). Dalam hal ini, IoT juga menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan efisien, karena risiko yang terkait dengan intervensi manual dapat diminimalisir.

Namun, meskipun potensi besar yang dimiliki IoT, penerapannya juga menghadirkan tantangan, seperti kesulitan dalam mengintegrasikan berbagai teknologi baru ke dalam infrastruktur industri yang sudah ada. Selain itu, masalah keamanan data dan jaringan yang rentan terhadap serangan siber menjadi salah satu hambatan utama yang dihadapi perusahaan dalam mengimplementasikan IoT. Walaupun demikian, manfaat yang ditawarkan oleh IoT dalam konteks otomatisasi pabrik mendorong banyak perusahaan untuk terus mengeksplorasi cara terbaik mengatasi tantangan ini dan memaksimalkan penggunaan teknologi ini untuk meningkatkan produktivitas industri secara keseluruhan (Zhang et al., 2020).

Studi bibliometrik pada produktivitas industri yang dipengaruhi oleh penerapan IoT menjadi penting untuk mengidentifikasi tren dan perkembangan terkini. Melalui kajian literatur, dapat ditemukan bahwa IoT memiliki peran signifikan dalam menciptakan sistem produksi yang lebih adaptif dan efisien. Selain itu, bibliometrik membantu dalam mengungkapkan dinamika pengetahuan di bidang ini, termasuk kolaborasi antara peneliti dan pengaruh dari berbagai wilayah geografis. Sebagai teknologi yang terus berkembang, IoT memberikan peluang besar untuk meningkatkan produktivitas industri global, yang berimplikasi langsung pada perkembangan ekonomi dan sosial di berbagai negara (Li et al., 2018).

Meskipun dampak positif IoT pada efisiensi otomatisasi pabrik telah banyak dibahas dalam literatur, masih terdapat gap penelitian terkait sejauh mana penerapan IoT secara optimal dapat meningkatkan produktivitas industri. Salah satu permasalahan utama adalah bagaimana mengukur dampak konkret dari penerapan IoT pada berbagai sektor industri, terutama dalam konteks pabrik-pabrik dengan sistem produksi yang kompleks. Selain itu, masalah keterbatasan sumber daya manusia yang paham teknologi serta tantangan infrastruktur jaringan masih menjadi hambatan utama dalam proses adopsi IoT secara luas. Kajian ini menjadi krusial untuk menjawab berbagai pertanyaan terkait efektivitas dan tantangan dalam mengimplementasikan IoT pada otomatisasi pabrik, serta bagaimana teknologi ini dapat berkontribusi pada pencapaian target produktivitas industri yang lebih tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis bibliometrik mengenai dampak IoT pada efisiensi otomatisasi pabrik, dengan fokus pada produktivitas industri. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tren penelitian, gap penelitian, serta kontribusi literatur dalam mendukung penerapan IoT di bidang otomatisasi pabrik. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat ditemukan wawasan yang lebih mendalam mengenai tantangan dan peluang yang dihadapi oleh industri dalam mengadopsi IoT, serta strategi untuk meningkatkan produktivitas industri melalui penggunaan teknologi ini.

## LANDASAN TEORI

### **A. Konsep Internet of Things (IoT) dalam Otomatisasi Pabrik**

Internet of Things (IoT) merupakan konsep di mana perangkat fisik terhubung satu sama lain melalui internet, sehingga memungkinkan komunikasi dan pertukaran data secara real-time tanpa intervensi manusia (Atzori et al., 2010). Di sektor industri, IoT berperan penting dalam menciptakan pabrik yang cerdas, di mana mesin, perangkat, dan sistem terhubung dan berinteraksi satu sama lain untuk mengoptimalkan proses produksi (L. Da Xu et al., 2014). Otomatisasi berbasis IoT melibatkan sensor, aktuator, perangkat lunak, serta teknologi jaringan untuk mengumpulkan dan menganalisis data produksi guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Penggunaan IoT dalam pabrik ini dikenal dengan istilah Industrial Internet of Things (IIoT), yang menjadi fondasi utama dalam revolusi industri 4.0.

Menurut Porter & Heppelmann (2015), IoT dalam industri memungkinkan pemantauan dan pengelolaan sistem produksi secara real-time, yang mengarah pada efisiensi yang lebih tinggi dalam penggunaan sumber daya dan penurunan biaya operasional. IIoT memungkinkan pengelolaan peralatan secara prediktif, sehingga meminimalkan downtime akibat kerusakan mesin. Dengan demikian, IoT memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas pabrik dan kemampuan perusahaan untuk bersaing di pasar global.

### **B. Efisiensi Otomatisasi Pabrik Berbasis IoT**

Otomatisasi pabrik berbasis IoT telah terbukti meningkatkan efisiensi operasional, baik dalam hal produksi maupun pemeliharaan mesin. Menurut Liu et al. (2019), IoT memungkinkan terjadinya optimasi proses produksi melalui analisis data yang dikumpulkan secara real-time dari berbagai mesin dan perangkat. Data tersebut memberikan wawasan yang dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas, mengurangi waste, dan memperbaiki kualitas produk. Di sisi lain, teknologi ini juga memungkinkan adanya sistem pemeliharaan prediktif, yang mampu memprediksi kapan mesin akan mengalami kerusakan dan membutuhkan perbaikan. Dengan demikian, perusahaan dapat melakukan pemeliharaan sebelum terjadinya downtime, sehingga proses produksi dapat berjalan lebih efisien (Jeschke et al., 2017).

Implementasi IoT juga memperkenalkan konsep otomatisasi yang adaptif, di mana sistem dapat menyesuaikan parameter operasional secara otomatis berdasarkan data yang diterima dari sensor. Hal ini memungkinkan pabrik untuk mengurangi penggunaan energi dan bahan baku secara signifikan, serta mengurangi risiko terjadinya kesalahan manusia dalam proses produksi (Wang et al., 2016). Penelitian yang dilakukan oleh Raj (2020) menunjukkan bahwa penerapan IoT pada pabrik otomasi dapat meningkatkan efisiensi hingga 30%, dengan peningkatan yang signifikan dalam hal produktivitas dan kualitas produk akhir.

### C. Dampak IoT terhadap Produktivitas Industri

Salah satu dampak utama IoT dalam sektor industri adalah peningkatan produktivitas. Melalui otomatisasi yang lebih terintegrasi dan pengelolaan yang lebih efisien, perusahaan dapat memproduksi barang dengan lebih cepat, mengurangi waktu henti (downtime), dan meningkatkan kualitas produk secara keseluruhan. Menurut studi yang dilakukan oleh Colombo & Ferrari (2018), penerapan IoT dalam industri manufaktur dapat meningkatkan produktivitas hingga 20%, dengan efisiensi yang lebih baik dalam manajemen sumber daya dan penggunaan peralatan. Penelitian lain oleh Kang et al. (2017) juga mendukung temuan ini, dengan mencatat bahwa penerapan teknologi IoT dalam otomatisasi pabrik memungkinkan pabrik untuk beroperasi secara lebih fleksibel dan responsif terhadap perubahan permintaan pasar.

IoT juga membantu mengatasi tantangan dalam manajemen rantai pasok, di mana perusahaan dapat melacak aliran barang dan bahan secara real-time. Hal ini mengurangi risiko terjadinya bottleneck dalam proses produksi, yang sering kali menjadi penyebab utama keterlambatan produksi dan penurunan produktivitas (Ivanov et al., 2019). Selain itu, integrasi IoT dengan sistem enterprise resource planning (ERP) memungkinkan pengelolaan data yang lebih terstruktur, sehingga memudahkan pengambilan keputusan strategis dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas (Li et al., 2018).

### D. Tantangan dalam Implementasi IoT pada Otomatisasi Pabrik

Meskipun banyak manfaat yang ditawarkan IoT dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi pabrik, ada sejumlah tantangan yang harus diatasi oleh industri. Salah satu tantangan terbesar adalah biaya awal yang tinggi untuk mengadopsi teknologi ini, terutama bagi perusahaan kecil dan menengah yang mungkin tidak memiliki anggaran besar untuk investasi teknologi (Gilchrist, 2016). Selain itu, integrasi teknologi IoT dengan sistem yang sudah ada di pabrik juga memerlukan penyesuaian yang kompleks, karena beberapa mesin mungkin tidak kompatibel dengan teknologi modern yang dibutuhkan untuk mendukung IoT (Lu & Cecil, 2016).

Keamanan siber juga menjadi perhatian utama dalam penerapan IoT di industri. Mengingat bahwa IoT bergantung pada koneksi internet untuk beroperasi, jaringan industri menjadi lebih rentan terhadap serangan siber. Penelitian oleh Boyes et al. (2018) menunjukkan bahwa keamanan IoT dalam industri masih menjadi isu yang perlu diperhatikan secara serius, mengingat potensi risiko yang dapat merusak sistem produksi dan mengakibatkan kerugian finansial yang signifikan. Oleh karena itu, langkah-langkah mitigasi risiko seperti enkripsi data dan firewall yang kuat sangat penting untuk memastikan keamanan dalam penggunaan IoT pada otomatisasi pabrik.

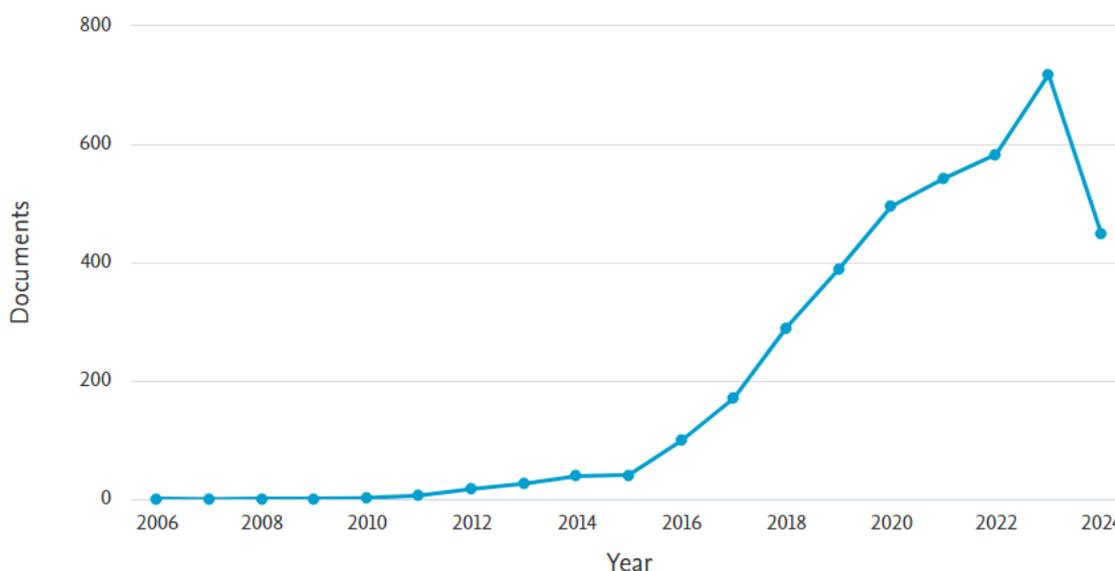
### METODE PENELITIAN

Studi ini mengadopsi pendekatan bibliometrik untuk menganalisis literatur yang berkaitan dengan penerapan Internet of Things (IoT) dalam otomasi pabrik manufaktur. Data untuk analisis ini diperoleh dari database akademik Scopus, mencakup publikasi dari tahun 2006 hingga 2024. Kriteria inklusi artikel berfokus pada studi yang secara eksplisit membahas IoT dalam konteks otomasi industri manufaktur. Proses ekstraksi data menggunakan software VOSviewer untuk visualisasi dan analisis ko-kurasi kata kunci, sitasi, dan ko-authorship, memungkinkan identifikasi tren, pola, dan jaringan kolaboratif dalam penelitian IoT.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Analisis Deskriptif

Documents by year



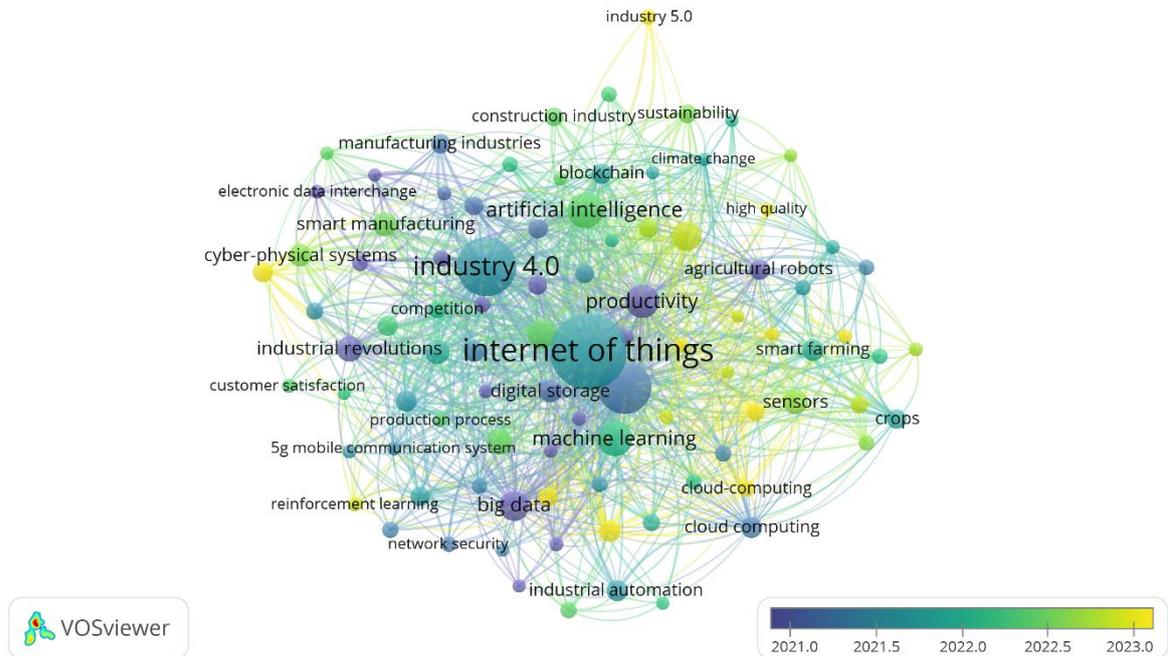
Gambar 1. Publikasi Tahunan

Grafik ini menunjukkan tren pertumbuhan jumlah dokumen yang diterbitkan terkait dengan topik yang diteliti dari tahun 2006 hingga 2024. Pada periode awal (2006-2015), jumlah dokumen yang dipublikasikan tetap rendah dan stabil, dengan fluktuasi minimal. Namun, mulai tahun 2016, terjadi peningkatan yang signifikan dalam jumlah dokumen, mencerminkan semakin meningkatnya minat dan penelitian di bidang tersebut, yang kemungkinan terkait dengan kemajuan teknologi dan penerapan konsep Industry 4.0 serta Internet of Things (IoT). Puncak tertinggi terlihat pada tahun 2022, di mana jumlah dokumen mencapai hampir 800. Meskipun ada penurunan tajam yang terlihat di awal 2024, tren keseluruhan menunjukkan pertumbuhan yang kuat dan konsisten, menandakan bahwa topik ini tetap relevan dan menjadi fokus utama dalam penelitian akademis.



operasional industri dan pertanian. Keseluruhan visualisasi menggambarkan jaringan penelitian yang kompleks dengan IoT sebagai titik puncak dalam inovasi teknologi yang berdampak luas pada berbagai sektor industri.

C. Analisis Tren Penelitian



Gambar 3. Visualisasi *Overlay*

Sumber: Data Diolah, 2024

Visualisasi jaringan ko-kurasi kata kunci ini menunjukkan evolusi fokus penelitian dalam bidang Internet of Things (IoT) dan Industri 4.0 dari tahun 2021 (ditandai dengan warna biru) hingga tahun 2023 (ditandai dengan warna kuning). Dari tahun 2021 ke 2023, terjadi peningkatan signifikan dalam penelitian yang terkait dengan teknologi "cloud computing" dan "machine learning", yang keduanya menjadi lebih sentral dan terhubung dengan berbagai aspek industri otomasi dan manufaktur. Hal ini mengindikasikan bahwa integrasi teknologi canggih ini dalam sistem IoT menjadi semakin penting dan diakui sebagai faktor kunci dalam mendorong inovasi dan efisiensi operasional dalam industri.

Pada tahun 2021, kata kunci utama seperti "internet of things", "industry 4.0", "artificial intelligence", dan "cyber-physical systems" mendominasi penelitian dengan hubungan yang erat dengan "smart manufacturing" dan "industrial automation". Fokus ini menekankan pada penerapan IoT untuk meningkatkan otomasi dan konektivitas dalam lingkungan pabrik. Namun, ke arah tahun 2023, terlihat pergeseran fokus ke arah penerapan "cloud computing" yang menandakan peningkatan kebutuhan akan infrastruktur yang lebih adaptif dan skalabel, yang mampu mengelola volume data yang besar dari perangkat IoT.

Selain itu, penelitian terkait "sustainability" dan "climate change" tampaknya menjadi lebih terintegrasi dengan topik IoT dan Industri 4.0 pada tahun 2023, yang mencerminkan tumbuhnya kesadaran dan kebutuhan untuk mengatasi isu keberlanjutan melalui teknologi. Ini mencerminkan

tren global yang semakin meningkatkan nilai penting teknologi bersih dan efisien energi dalam industri manufaktur. Penekanan pada "sensors" dan "smart farming" juga meningkat, menggambarkan ekspansi IoT tidak hanya dalam konteks industri tetapi juga dalam pertanian, menunjukkan diversifikasi aplikasi IoT yang luas di berbagai sektor ekonomi.

*D. Top Cited Literature*

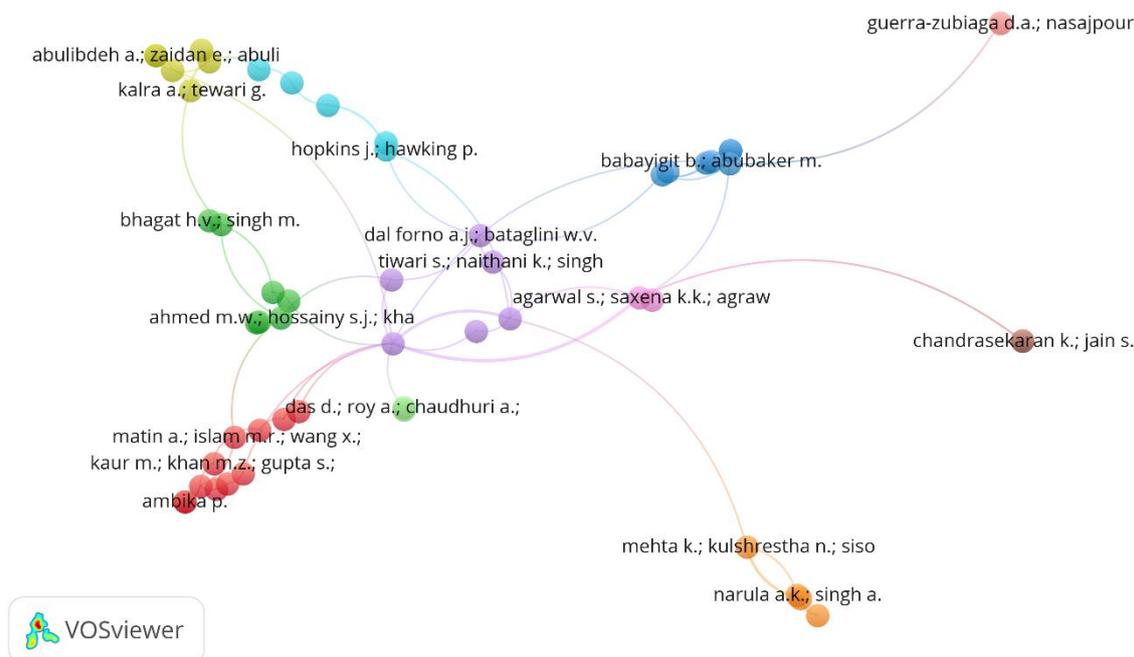
Tabel 2. Literatur Teratas yang Disitir

Jumlah Kutipan	Penulis	Judul	Temuan
4,025	(L. Da Xu et al., 2014)	Internet of things in industries: A survey	Survei menyeluruh tentang implementasi IoT dalam berbagai industri, menyoroti peningkatan efisiensi, integrasi sistem, dan tantangan keamanan. Penelitian ini juga membahas pengaruh IoT pada transformasi digital perusahaan.
2,243	(Islam et al., 2015)	The internet of things for health care: A comprehensive survey	Survei menyeluruh mengenai aplikasi IoT dalam sektor kesehatan, termasuk pemantauan pasien jarak jauh, manajemen data kesehatan, dan keamanan sistem. Artikel ini juga mengeksplorasi potensi IoT untuk meningkatkan aksesibilitas dan kualitas perawatan kesehatan.
2,157	(Lu, 2017)	Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues	Survei tentang teknologi Industry 4.0, aplikasinya dalam otomasi, manufaktur cerdas, dan tantangan penelitian yang ada seperti integrasi sistem, pengolahan data, dan isu-isu privasi.
2,107	(L. Da Xu et al., 2018)	Industry 4.0: State of the art and future trends	Analisis kondisi terkini dan tren masa depan Industry 4.0, dengan fokus pada inovasi teknologi, dampaknya pada struktur pasar dan kekuatan kerja, serta tantangan adaptasi industri.
2,050	(Sarker, 2021)	Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions	Ulasan tentang algoritma pembelajaran mesin, aplikasi nyata mereka dalam berbagai bidang seperti kesehatan, keuangan, dan manufaktur, serta arah penelitian masa depan termasuk pembelajaran mendalam dan AI adaptif.
2,037	(I. Lee & Lee, 2015)	The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises	Diskusi mengenai aplikasi IoT dalam bisnis, investasi yang berkembang dalam teknologi ini, dan tantangan yang dihadapi perusahaan, termasuk skala implementasi dan masalah privasi.
2,010	(Zhong et al., 2017)	Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review	Tinjauan tentang manufaktur cerdas dalam konteks Industri 4.0, termasuk otomatisasi, penggunaan robotika,

Jumlah Kutipan	Penulis	Judul	Temuan
			dan sistem cyber-fisik. Penelitian ini menekankan pada evolusi ke arah pabrik yang lebih autonom dan fleksibel.
1,677	(Sisinni et al., 2018)	Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions	Diskusi mengenai tantangan dan peluang IIoT, dengan fokus pada skalabilitas, keamanan, dan integrasi teknologi baru. Juga mengeksplorasi arah masa depan seperti IoT hijau dan berkelanjutan.
1,583	(Andoni et al., 2019)	Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities	Ulasan sistematis tentang penerapan teknologi blockchain dalam sektor energi, menyoroti bagaimana blockchain dapat meningkatkan transparansi, efisiensi, dan keandalan dalam manajemen dan distribusi energi.
1,475	(Andoni et al., 2019)	Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities	Tinjauan yang sama dengan Andoni et al., menyajikan analisis mendalam tentang potensi blockchain untuk merevolusi sektor energi, termasuk tantangan seperti adopsi teknologi, skalabilitas, dan aspek regulasi.

Sumber: Output Publish or Perish, 2024

### E. Analisis Kolaborasi Penulis

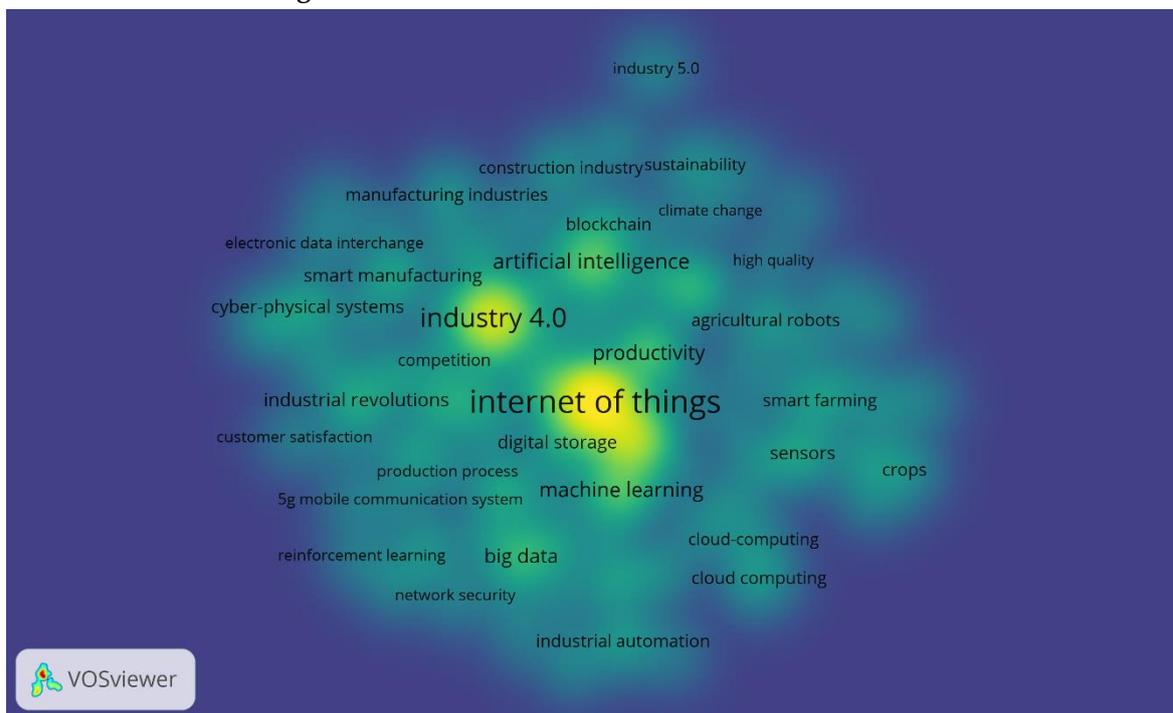


Gambar 4. Analisis Kolaborasi Penulis

Sumber: Data Diolah, 2024

Visualisasi ini menunjukkan jaringan kolaborasi penulis dalam penelitian yang terkait dengan topik tertentu, di mana setiap titik mewakili seorang penulis dan garis yang menghubungkan mereka mencerminkan kolaborasi antara penulis tersebut. Beberapa kelompok penulis terlihat saling terkait, menunjukkan kolaborasi yang kuat di antara mereka, terutama di dalam cluster warna yang sama. Misalnya, penulis seperti "bhagat h.v." dan "singh m." tergabung dalam cluster hijau, yang menunjukkan tingkat kolaborasi yang tinggi dalam penelitian mereka. Sementara itu, penulis seperti "guerra-zubiaga d.a." dan "nasajpour" tampak lebih terisolasi, menandakan bahwa kolaborasi mereka lebih terbatas dibandingkan penulis lainnya. Jaringan ini dapat memberikan wawasan tentang kolaborasi akademis di bidang penelitian tertentu, serta penulis-penulis kunci yang memiliki pengaruh signifikan dalam literatur yang ada.

**F. Analisis Peluang Penelitian**



Gambar 5. Visualisasi Densitas

Sumber: Data Diolah, 2024

Visualisasi ini berupa peta panas (heatmap) yang menggambarkan frekuensi dan intensitas penelitian terkait dengan "Internet of Things" (IoT) dan "Industry 4.0". Kata-kata yang muncul dengan warna yang lebih terang menunjukkan tingkat penelitian yang lebih tinggi, sedangkan yang lebih gelap menunjukkan kurangnya perhatian. Dari tampilan peta, terlihat bahwa istilah "industry 4.0" dan "internet of things" merupakan titik fokus utama, dengan keduanya dikelilingi oleh kata kunci lain yang terkait seperti "artificial intelligence", "machine learning", "productivity", dan "smart manufacturing". Hal ini menunjukkan bahwa penelitian yang berfokus pada otomasi dan teknologi cerdas dalam industri menjadi perhatian utama dalam literatur saat ini.

Selain itu, munculnya kata-kata kunci seperti "big data", "cloud computing", dan "cyber-physical systems" mencerminkan pentingnya integrasi berbagai teknologi dalam implementasi IoT dan Industry 4.0. Juga, isu-isu terkait keberlanjutan seperti "construction industry sustainability" dan

"climate change" menunjukkan bahwa ada kesadaran yang berkembang tentang pentingnya dampak lingkungan dalam pengembangan teknologi industri. Secara keseluruhan, visualisasi ini memberikan wawasan yang jelas mengenai arah penelitian dan perhatian utama dalam bidang IoT dan Industry 4.0, serta menyoroti keterkaitan yang kompleks antara berbagai teknologi dan tantangan yang dihadapi industri saat ini.

## **Pembahasan**

### **Peningkatan Efisiensi dan Produktivitas melalui IoT dan Industry 4.0**

IoT mengacu pada jaringan perangkat fisik yang saling terhubung, yang memungkinkan pengumpulan dan pertukaran data secara real-time. Dalam konteks industri, IoT dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas dengan memberikan data yang relevan untuk pengambilan keputusan. Menurut L. Da Xu et al. (2018), implementasi IoT dalam proses manufaktur dapat mengurangi downtime mesin, meningkatkan pemeliharaan prediktif, dan mengoptimalkan alur kerja. Hal ini sejalan dengan prinsip Industry 4.0, yang menekankan pada penggunaan teknologi digital untuk menciptakan pabrik pintar yang dapat beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan permintaan dan kondisi pasar.

Analisis bibliometrik yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penelitian terkait IoT dan Industry 4.0 mengalami peningkatan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Kata kunci seperti "smart manufacturing", "productivity", dan "artificial intelligence" muncul sebagai tema utama dalam literatur, menunjukkan bahwa banyak penelitian berfokus pada bagaimana teknologi ini dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi produksi. Misalnya, (W. J. Lee, 2019) mengemukakan bahwa perusahaan yang mengadopsi IoT dalam operasional mereka dapat meningkatkan transparansi dan visibilitas dalam rantai pasokan, yang pada gilirannya mempercepat respons terhadap kebutuhan pasar.

### **Tantangan dalam Implementasi IoT dan Industry 4.0**

Meskipun potensi yang ditawarkan oleh IoT dan Industry 4.0 sangat besar, masih ada sejumlah tantangan yang harus dihadapi oleh perusahaan dalam implementasinya. Salah satu tantangan utama adalah masalah keamanan data. Dengan semakin banyak perangkat yang terhubung, risiko serangan siber juga meningkat. Sisinni et al. (2018) menyoroti bahwa keamanan siber adalah salah satu perhatian utama dalam penerapan Industrial Internet of Things (IIoT), dan perlu adanya solusi yang kuat untuk melindungi data sensitif dan menjaga integritas sistem.

Selain itu, biaya implementasi juga menjadi hambatan bagi banyak perusahaan, terutama bagi usaha kecil dan menengah (UKM) yang memiliki sumber daya terbatas. Biaya awal yang tinggi untuk mengadopsi teknologi baru dan melakukan pelatihan karyawan dapat menjadi penghalang signifikan. Dalam penelitian oleh Hefni (2020), disebutkan bahwa banyak UKM yang merasa terhalang untuk mengadopsi IoT karena kekhawatiran akan biaya dan risiko yang terkait. Oleh karena itu, diperlukan kebijakan yang mendukung adopsi teknologi, termasuk insentif finansial dan program pelatihan.

### **Dampak Lingkungan dan Keberlanjutan**

Dalam beberapa tahun terakhir, isu keberlanjutan dan dampak lingkungan telah menjadi perhatian utama dalam penerapan teknologi industri. Peningkatan penggunaan IoT dan teknologi terkait tidak hanya berfokus pada efisiensi dan produktivitas, tetapi juga pada pengurangan jejak

karbon dan dampak lingkungan. Menurut laporan oleh Andoni et al. (2019), teknologi blockchain dan IoT dapat digunakan untuk meningkatkan transparansi dalam rantai pasokan energi, sehingga mempromosikan praktik yang lebih berkelanjutan. Integrasi IoT dalam sektor pertanian juga memberikan peluang untuk mengurangi penggunaan sumber daya, seperti air dan pupuk, melalui sistem pemantauan yang cerdas.

Tren ini terlihat dalam visualisasi yang menunjukkan keterkaitan antara kata kunci seperti "sustainability", "climate change", dan "smart farming". Dalam konteks ini, penggunaan teknologi cerdas dalam pertanian dapat membantu petani untuk mengelola sumber daya mereka secara lebih efisien, sekaligus meningkatkan hasil panen dan mengurangi dampak lingkungan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut mengenai dampak lingkungan dari implementasi IoT dan Industry 4.0 akan sangat penting untuk mendorong praktik yang lebih berkelanjutan di sektor industri.

### **Arah Penelitian Masa Depan**

Berdasarkan analisis bibliometrik dan tren yang muncul, ada beberapa arah penelitian masa depan yang dapat dijelajahi. Pertama, penelitian lebih lanjut tentang integrasi berbagai teknologi seperti AI, blockchain, dan big data dalam konteks IoT dan Industry 4.0 akan menjadi penting. Misalnya, bagaimana kombinasi dari teknologi-teknologi ini dapat menciptakan sistem yang lebih cerdas dan responsif di industri? Penelitian tentang algoritma machine learning yang dapat digunakan untuk analisis data real-time dalam lingkungan IoT juga dapat memberikan kontribusi besar dalam pengembangan teknologi cerdas. Kedua, isu keamanan dan privasi harus menjadi fokus utama dalam penelitian mendatang. Dengan semakin banyaknya perangkat yang terhubung, perlindungan data menjadi semakin kompleks. Penelitian tentang solusi keamanan yang inovatif dan praktik terbaik untuk menjaga integritas sistem IoT akan sangat dibutuhkan. Selain itu, pengembangan kebijakan dan kerangka kerja untuk melindungi privasi pengguna dalam sistem yang terhubung juga perlu diteliti. Ketiga, penelitian yang berfokus pada dampak sosial dari IoT dan Industry 4.0 harus ditingkatkan. Seiring dengan adopsi teknologi baru, dampak pada tenaga kerja dan keterampilan yang dibutuhkan di masa depan harus dianalisis. Apakah adopsi teknologi ini akan menciptakan lebih banyak lapangan kerja atau justru mengurangi kebutuhan akan tenaga kerja manusia? Penelitian tentang reskilling dan upskilling tenaga kerja dalam konteks transformasi digital akan sangat penting untuk memastikan bahwa tenaga kerja dapat beradaptasi dengan perubahan yang terjadi.

### **KESIMPULAN**

Kesimpulan dari studi ini menunjukkan bahwa penerapan Internet of Things (IoT) dan prinsip-prinsip Industry 4.0 memiliki potensi signifikan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas di berbagai sektor industri, termasuk manufaktur dan pertanian. Meskipun demikian, tantangan terkait keamanan data, biaya implementasi, dan dampak lingkungan perlu diatasi agar manfaat dari teknologi ini dapat dimaksimalkan. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya integrasi berbagai teknologi canggih seperti kecerdasan buatan dan blockchain, serta perlunya fokus pada keberlanjutan dan dampak sosial dalam penerapan IoT. Dengan demikian, upaya untuk memahami dan mengatasi tantangan ini,

serta mengeksplorasi potensi inovasi, akan menjadi kunci untuk memajukan transformasi digital yang lebih berkelanjutan dan inklusif di era Industry 4.0.

## REFERENSI

- Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., McCallum, P., & Peacock, A. (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 100*, 143–174.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks, 54*(15), 2787–2805.
- Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry, 101*, 1–12.
- Colombo, P., & Ferrari, E. (2018). Access control enforcement within mqtt-based internet of things ecosystems. *Proceedings of the 23rd ACM on Symposium on Access Control Models and Technologies*, 223–234.
- Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 10*(4), 2233–2243.
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Springer.
- Hefni, W. (2020). Moderasi beragama dalam ruang digital: Studi pengarusutamaan moderasi beragama di perguruan tinggi keagamaan Islam negeri. *Jurnal Bimas Islam, 13*(1), 1–22.
- Islam, S. M. R., Kwak, D., Kabir, M. D. H., Hossain, M., & Kwak, K.-S. (2015). The internet of things for health care: a comprehensive survey. *IEEE Access, 3*, 678–708.
- Ivanov, S., Gretzel, U., Berezina, K., Sigala, M., & Webster, C. (2019). Progress on robotics in hospitality and tourism: a review of the literature. *Journal of Hospitality and Tourism Technology, 10*(4), 489–521.
- Jeschke, S., Brecher, C., Meisen, T., Özdemir, D., & Eschert, T. (2017). *Industrial internet of things and cyber manufacturing systems*. Springer.
- Kang, B., Kim, D., & Choo, H. (2017). Internet of everything: A large-scale autonomic IoT gateway. *IEEE Transactions on Multi-Scale Computing Systems, 3*(3), 206–214.
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons, 58*(4), 431–440.
- Lee, W. J. (2019). Toward sustainable accounting information: Evidence from IFRS adoption in Korea. *Sustainability, 11*(4), 1154.
- Li, H., Ota, K., & Dong, M. (2018). Learning IoT in edge: Deep learning for the Internet of Things with edge computing. *IEEE Network, 32*(1), 96–101.
- Liu, Y., Yang, C., Jiang, L., Xie, S., & Zhang, Y. (2019). Intelligent edge computing for IoT-based energy management in smart cities. *IEEE Network, 33*(2), 111–117.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration, 6*, 1–10.
- Lu, Y., & Cecil, J. (2016). An Internet of Things (IoT)-based collaborative framework for advanced manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 84*, 1141–1152.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2015). How smart, connected products are transforming companies. *Harvard Business Review, 93*(10), 96–114.
- Raj, S. (2020). An efficient IoT-based platform for remote real-time cardiac activity monitoring. *IEEE Transactions on Consumer Electronics, 66*(2), 106–114.
- Sarker, I. H. (2021). Machine learning: Algorithms, real-world applications and research directions. *SN Computer Science, 2*(3), 160.
- Sisinni, E., Saifullah, A., Han, S., Jennehag, U., & Gidlund, M. (2018). Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 14*(11), 4724–4734.
- Wang, K., Wang, Y., Sun, Y., Guo, S., & Wu, J. (2016). Green industrial Internet of Things architecture: An energy-efficient perspective. *IEEE Communications Magazine, 54*(12), 48–54.
- Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research, 56*(8), 2941–2962.
- Xu, X., Fu, S., Qi, L., Zhang, X., Liu, Q., He, Q., & Li, S. (2018). An IoT-oriented data placement method with privacy preservation in cloud environment. *Journal of Network and Computer Applications, 124*, 148–157.
- Zhang, W., Lu, Q., Yu, Q., Li, Z., Liu, Y., Lo, S. K., Chen, S., Xu, X., & Zhu, L. (2020). Blockchain-based federated

- learning for device failure detection in industrial IoT. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(7), 5926–5937.
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, 3(5), 616–630.
- Zhou, L., Li, X., Yeh, K.-H., Su, C., & Chiu, W. (2019). Lightweight IoT-based authentication scheme in cloud computing circumstance. *Future Generation Computer Systems*, 91, 244–251.