

Transformasi Digital dalam Manufaktur: Analisis Bibliometrik Tren Industri 4.0

Loso Judijanto¹, Rina Destiana², Thitus Gilaa³, Mislani Sihite⁴

¹ IPOSS Jakarta, Indonesia dan losojudijantobumn@gmail.com

² Universitas Swadaya Gunung Jati dan rina.destiana@ugj.ac.id

³ PT. Grayson Training Indonesia dan Thitus_g@yahoo.com

⁴ Universitas Methodist Indonesia dan mislansihite1@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan analisis visualisasi VOSviewer untuk memahami dinamika penelitian dalam transformasi digital dan keberlanjutan. Melalui pendekatan multi-perspektif, studi ini mengidentifikasi klusterisasi tema, tren penelitian, kolaborasi penulis, dan peluang penelitian yang belum banyak digali. Klusterisasi tema menunjukkan hubungan erat antara digitalisasi, strategi bisnis, dan prinsip keberlanjutan. Analisis tren penelitian menyoroti evolusi fokus dari pendidikan dan logistik ke strategi transformasi digital yang matang dan praktek keberlanjutan dari 2019 hingga 2021. Kolaborasi penulis terpeta untuk menunjukkan jaringan kunci dan hubungan yang mempengaruhi penelitian di bidang ini. Selanjutnya, area penelitian yang belum banyak terjamah dianalisis untuk mengungkap potensi bidang seperti pendidikan, produksi industri, dan logistik dalam konteks ekonomi digital. Hasil dari studi ini memberikan panduan strategis untuk peneliti dan praktisi yang berkeinginan mengintegrasikan inovasi teknologi dan keberlanjutan dalam praktik bisnis dan akademis.

Kata Kunci: *Transformasi Digital, Industry Manufaktur, Analisis Bibliometrik, VOSviewer*

ABSTRACT

This study employs VOSviewer visualization analysis to understand the dynamics of research in digital transformation and sustainability. Through a multi-perspective approach, the research identifies thematic clustering, research trends, author collaborations, and underexplored research opportunities. Thematic clustering reveals a strong interconnection between digitalization, business strategy, and sustainability principles. Research trend analysis highlights the evolution of focus from education and logistics to mature digital transformation strategies and sustainability practices from 2019 to 2021. Author collaborations are mapped to reveal key networks and relationships influencing research in this field. Furthermore, underexplored research areas are analyzed to uncover potential fields such as education, industrial production, and logistics within the digital economy context. The findings of this study provide strategic guidance for researchers and practitioners aiming to integrate technological innovation and sustainability in business and academic practices.

Keywords: *Digital Transformation, Manufacture Industry, Bibliometric Analysis, and VOSviewer*

PENDAHULUAN

Di era globalisasi dan kemajuan teknologi yang pesat, transformasi digital telah menjadi kunci utama dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam industri manufaktur (Samaraz, 2023). Industri 4.0, yang dikenal dengan integrasi teknologi otomatisasi dan data pertukaran dalam manufaktur, menyajikan peluang serta tantangan yang signifikan (Li & Yang, 2021). Penerapan teknologi seperti Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), dan pembelajaran mesin telah mengubah cara perusahaan manufaktur beroperasi, memungkinkan mereka untuk mencapai tingkat personalisasi produk yang lebih tinggi dan waktu produksi yang lebih cepat (Loghin et al., 2023; Yaqub & Alsabban, 2023). Namun, implementasi teknologi-teknologi ini tidak merata di

seluruh dunia, dengan beberapa industri lebih cepat mengadopsi daripada yang lain (Ahmad et al., 2022).

Kemajuan dalam teknologi digital memberikan dampak yang luas terhadap struktur ekonomi dan sosial, termasuk di sektor manufaktur (Miao & Zhao, 2023; Ranka & Vasudevan, 2023). Dengan keberlanjutan menjadi perhatian yang semakin meningkat, perusahaan dituntut untuk tidak hanya fokus pada profitabilitas tetapi juga pada operasi yang ramah lingkungan (Si et al., 2023). Transformasi digital memungkinkan perusahaan untuk memantau dan mengurangi penggunaan energi serta limbah secara lebih efektif (Mustapić et al., 2023). Namun, adaptasi terhadap teknologi baru ini sering kali terhambat oleh kurangnya SDM yang terampil dan biaya implementasi yang tinggi (Ji et al., 2023).

Dalam konteks global, penetrasi dan efektivitas transformasi digital di sektor manufaktur masih menjadi topik yang banyak diperdebatkan. Meskipun beberapa negara maju telah membuat kemajuan signifikan, negara-negara berkembang sering kali menghadapi hambatan signifikan yang terkait dengan infrastruktur teknologi dan kebijakan pemerintah. Ini menimbulkan pertanyaan mengenai bagaimana distribusi keuntungan dari Industri 4.0 bisa menjadi lebih merata dan inklusif. Walaupun potensi dari Industri 4.0 untuk transformasi digital dalam manufaktur telah banyak dibahas, terdapat kekurangan pengetahuan mengenai sejauh mana dan bagaimana teknologi ini telah diadopsi di berbagai konteks industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis tren serta hambatan dalam adopsi teknologi Industri 4.0, dengan fokus pada variabilitas antar wilayah dan sektor industri.

Tujuan utama dari riset ini adalah untuk melakukan analisis bibliometrik yang mendalam terhadap literatur yang tersedia mengenai pengadopsian teknologi Industri 4.0 dalam sektor manufaktur. Penelitian ini akan mengidentifikasi tren utama, pola, dan celah pengetahuan dalam literatur yang ada, serta menyediakan rekomendasi praktis untuk pemangku kepentingan dalam industri. Penelitian ini penting karena hasilnya diharapkan dapat memberikan wawasan berharga kepada para pembuat kebijakan, praktisi industri, dan peneliti dalam memahami kompleksitas serta dinamika dari transformasi digital di sektor manufaktur. Dengan memahami tren dan hambatan yang ada, dapat dirumuskan strategi yang lebih efektif untuk mengatasi tantangan yang dihadapi dan memanfaatkan potensi penuh dari teknologi Industri 4.0.

LANDASAN TEORI

A. Pengertian dan Ruang Lingkup Industri 4.0

Industri 4.0, yang sering diidentifikasi sebagai revolusi industri keempat, mendasarkan pada digitalisasi proses manufaktur melalui teknologi cerdas dan terhubung. (Bloem et al., 2014) menggambarkan Industri 4.0 sebagai era di mana teknologi informasi dan operasional berkonvergensi untuk menciptakan sistem yang dapat beroperasi secara independen. IoT, AI, dan robotika merupakan pilar utama yang mendukung infrastruktur ini. Analisis oleh (M. Xu et al., 2018) menunjukkan bahwa penerapan IoT dalam manufaktur dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya operasi hingga 30%.

B. Dampak Teknologi Industri 4.0 pada Produktivitas dan Efisiensi

Literatur menunjukkan bahwa integrasi AI dan IoT dalam manufaktur berdampak signifikan terhadap peningkatan produktivitas dan efisiensi. (Vaidya et al., 2018) menemukan bahwa perusahaan yang mengadopsi prinsip Industri 4.0 dapat mencapai peningkatan signifikan dalam personalisasi produk tanpa mengorbankan kecepatan produksi. (Rüßmann et al., 2015) menambahkan bahwa teknologi prediktif yang dihasilkan dari data besar dan analitik canggih dapat secara dramatis mengurangi waktu henti mesin dan meningkatkan throughput.

C. Transformasi Digital dan Keberlanjutan Lingkungan

Salah satu aspek penting dari transformasi digital dalam manufaktur adalah peningkatan keberlanjutan. Menurut (Bonilla et al., 2018), perusahaan yang mengimplementasikan sistem berbasis Industri 4.0 telah melaporkan pengurangan penggunaan sumber daya dan emisi. Penggunaan AI untuk mengoptimalkan penggunaan energi dan bahan baku tidak hanya mengurangi biaya tetapi juga meminimalkan dampak lingkungan, sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan global.

D. Hambatan dalam Adopsi Industri 4.0

Meskipun manfaatnya signifikan, banyak perusahaan menghadapi hambatan dalam adopsi teknologi Industri 4.0. (Kagermann et al., 2016) mengidentifikasi bahwa kekurangan keahlian digital dan biaya awal yang tinggi adalah dua hambatan utama. Studi oleh (Frank et al., 2019) juga menyoroti bahwa kekhawatiran terkait keamanan data dan privasi merupakan penghalang besar lainnya, terutama di negara-negara dengan regulasi yang ketat.

E. Diferensiasi Geografis dalam Adopsi Industri 4.0

Penelitian menunjukkan adanya variasi geografis yang signifikan dalam adopsi dan penerapan teknologi Industri 4.0. Studi oleh (Lee & Ki, 2017) menunjukkan bahwa negara-negara di Eropa dan Amerika Utara cenderung lebih maju dalam implementasi teknologi ini dibandingkan dengan negara-negara di Asia dan Afrika. Hal ini sering dikaitkan dengan perbedaan dalam kapasitas infrastruktur teknologi dan kebijakan pemerintah yang mendukung inovasi dan adopsi teknologi.

METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis bibliometrik, yang memanfaatkan perangkat lunak spesialis seperti VOSviewer dan Scopus untuk mengumpulkan dan menganalisis data literatur yang relevan. Data awal diperoleh melalui pencarian kata kunci terkait Industri 4.0 dan transformasi digital dalam basis data akademik, dengan fokus pada artikel yang diterbitkan dari tahun 1957 hingga 2023. Kriteria inklusi meliputi artikel yang secara eksplisit membahas implementasi dan dampak Industri 4.0 dalam sektor manufaktur. Setelah pengumpulan data, analisis dilakukan untuk mengidentifikasi tren publikasi, kolaborasi antar penulis, dan

distribusi geografis penelitian. Visualisasi data, termasuk peta jaringan dan diagram heatmap, akan digunakan untuk menampilkan hasil dan membantu dalam interpretasi temuan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Matriks Data Penelitian

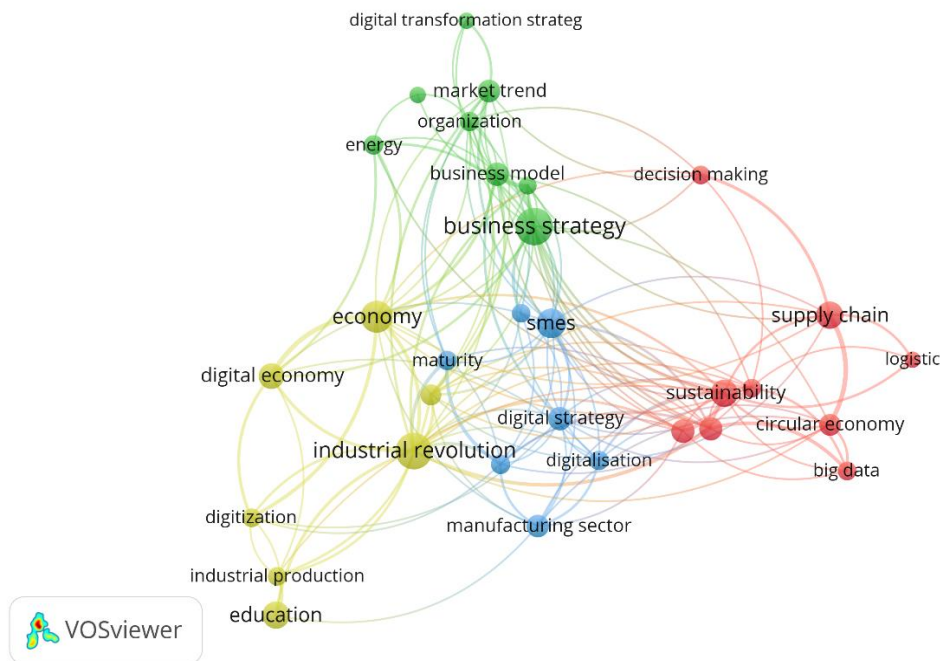
Tabel 1. Metrik Data Penelitian

<i>Publication years</i>	: 1957-2024
<i>Citation years</i>	: 67 (1957-2024)
<i>Paper</i>	: 980
<i>Citations</i>	: 177912
<i>Cites/year</i>	: 2655.40
<i>Cites/paper</i>	: 181.54
<i>Cites/author</i>	: 74103.75
<i>Papers/author</i>	: 455.26
<i>Author/paper</i>	: 2.84
<i>h-index</i>	: 208
<i>g-index</i>	: 416
<i>hI,norm</i>	: 132
<i>hI,annual</i>	: 1.97
<i>hA-index</i>	: 69
<i>Papers with ACC</i>	: 1,2,5,10,20:779,690,556,416,271

Sumber: Publish or Perish Output, 2024

Tabel ini menyajikan metrik bibliometrik dari sebuah dataset yang meliputi publikasi dari tahun 1957 hingga 2024, dengan total 980 karya ilmiah yang menghasilkan 177,912 sitasi, mengindikasikan dampak penelitian yang signifikan dengan rata-rata 181.54 sitasi per karya dan 2655.40 sitasi per tahun. Jumlah sitasi per penulis sangat tinggi, mencapai 74,103.75, menunjukkan bahwa beberapa penulis mungkin memiliki pengaruh yang besar dalam bidang tersebut. Rata-rata, setiap penulis telah menerbitkan 455.26 karya, dan setiap karya memiliki rata-rata 2.84 penulis, mengindikasikan kolaborasi yang kuat. Indeks h dengan nilai 208 dan g-index sebesar 416 menunjukkan bahwa banyak dari karya-karya ini memiliki pengaruh yang besar dan sering dikutip. Metrik hI,norm dan hI,annual, yang berturut-turut 132 dan 1.97, serta hA-index sebesar 69 juga menunjukkan tingginya standar kualitas dan konsistensi dalam produksi ilmiah yang berdampak. Akhirnya, distribusi karya yang dikutip (ACC) menunjukkan bahwa sebagian besar dari publikasi tersebut memiliki sitasi yang tinggi, dengan 779 karya memiliki setidaknya satu sitasi dan 271 karya memiliki setidaknya 20 sitasi, menegaskan lagi bahwa banyak dari karya-karya ini sangat berpengaruh dalam bidang studi mereka.

B. Pemetaan Jaringan Istilah



Gambar 1. Visualisasi Jaringan

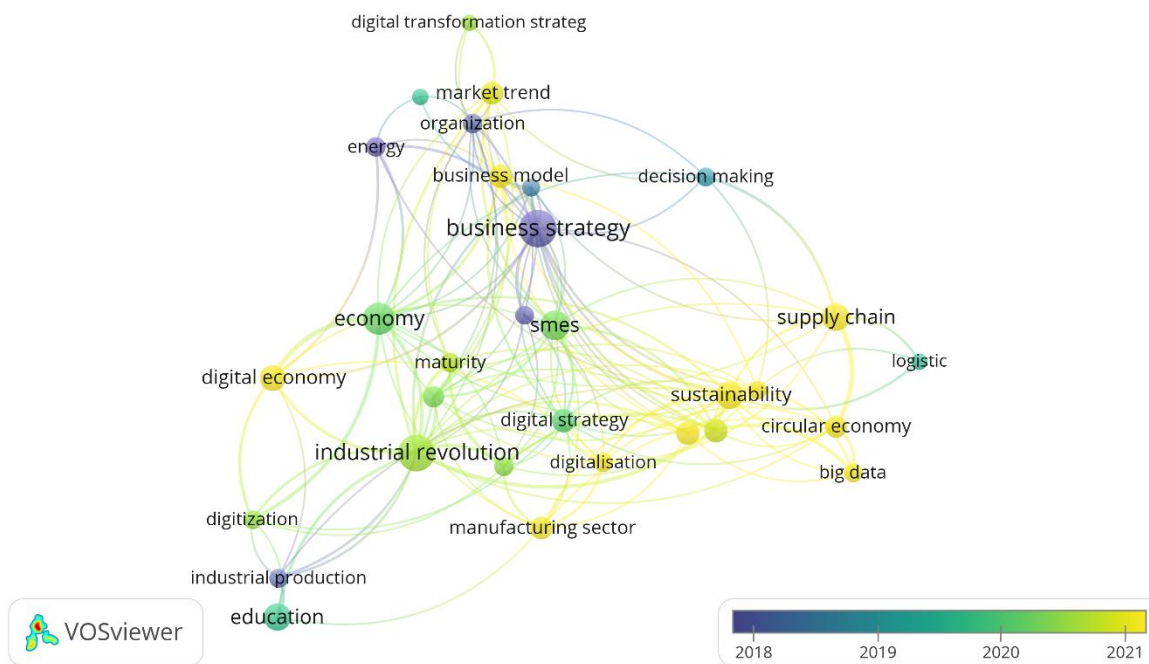
Sumber: Data Diolah, 2024

Gambar 1 merupakan peta jaringan yang dibuat menggunakan VOSviewer, alat yang sering digunakan untuk visualisasi dan analisis bibliometrik. Dalam peta ini, setiap titik atau node merepresentasikan sebuah kata kunci atau topik yang penting dalam kumpulan data literatur yang dianalisis. Garis antara titik-titik menunjukkan keterkaitan atau ko-kejadian kata kunci dalam literatur yang sama, sedangkan warna berbeda menandakan kluster atau kelompok tema yang berbeda. Dari visualisasi, kita bisa mengidentifikasi beberapa kluster utama:

1. Kluster Hijau: Digitalisasi dan Ekonomi
 Fokus pada konsep seperti "digital transformation", "market trend", "business model", "business strategy", dan "digital economy". Kluster ini tampaknya berkaitan dengan transformasi bisnis dan strategi melalui digitalisasi, menggambarkan bagaimana perusahaan beradaptasi dengan ekonomi digital.
2. Kluster Merah: Keberlanjutan dan Rantai Pasokan
 Topik seperti "sustainability", "supply chain", "circular economy", dan "big data" tergabung dalam kluster ini. Fokusnya pada bagaimana keberlanjutan dapat diintegrasikan dalam operasi rantai pasokan dan logistik, serta penggunaan big data untuk efisiensi dan keberlanjutan.
3. Kluster Kuning: Revolusi Industri dan Produksi
 Kluster ini mengandung kata kunci seperti "industrial revolution", "digitization", "industrial production", dan "manufacturing sector". Tema ini berkaitan dengan dampak revolusi industri keempat (Industri 4.0) pada produksi industri dan digitalisasi proses manufaktur.
4. Kluster Biru: Digitalisasi UMKM

Klaster biru pada visualisasi ini mencakup tema-tema yang berfokus pada digitalisasi di sektor Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) atau SMEs (Small and Medium Enterprises). Topik utama dalam klaster ini termasuk "smes", "digital strategy", "digitalization", dan "manufacturing sector". Klaster ini secara khusus mengeksplorasi bagaimana UMKM mengadopsi dan mengintegrasikan teknologi digital dalam operasi dan strategi mereka untuk meningkatkan efisiensi, skalabilitas, dan daya saing di pasar.

C. Analisis Tren Penelitian



Gambar 2. Visualisasi Overlay

Sumber: Data Diolah, 2024

Gambar kedua ini menunjukkan visualisasi jaringan VOSviewer dengan elemen tambahan berupa skala warna yang mewakili tahun publikasi dari literatur yang terkait dengan setiap kata kunci. Pada gambar ini, gradasi warna dari biru ke kuning mengindikasikan perkembangan waktu dari tahun 2018 hingga 2021. Warna ini memberikan wawasan tentang tren penelitian dan pergeseran fokus dalam topik dari waktu ke waktu.

1. Tahun 2018 (Biru Tua), fokus pada strategi bisnis, industrialisasi, dan pemanfaatan energi seperti muncul istilah *business strategy*, *industrial production*, dan *energy*. Ini menunjukkan tahap awal penekanan yang lebih luas pada konsep energi dan industrialisasi
2. Tahun 2019 (Biru Lebih Terang), tahun ini menunjukkan fokus yang meningkat pada aspek-aspek seperti "education", "decision making", dan "logistic". Fokus ini mencerminkan kepentingan yang tumbuh dalam pengajaran dan penerapan konsep-konsep digital dalam pendidikan, peningkatan efisiensi pengambilan keputusan melalui teknologi, dan optimalisasi logistik. Ini menandakan penelitian lebih terarah pada

pengembangan keterampilan dan infrastruktur yang dibutuhkan untuk mendukung transisi menuju praktek industri yang lebih inovatif dan teknologi berbasis.

3. Tahun 2020 (Hijau Muda) selama tahun ini, penekanan adalah pada "industrial revolution", "maturity", dan "digital transformation strategy". Ini menandakan tahap lanjutan dalam penerimaan dan penerapan Industri 4.0, dimana organisasi mulai menilai tingkat kematangan mereka dalam transformasi digital dan mengembangkan strategi-strategi yang lebih matang dan komprehensif untuk integrasi teknologi. Penelitian berfokus pada evaluasi dan pengembangan metode untuk mengintegrasikan teknologi baru secara efektif dalam kerangka kerja produksi dan operasional.
4. Tahun 2021 (Kuning Terang), di tahun ini, terdapat peningkatan signifikan pada tema-tema seperti "sustainability", "supply chain", "digital economy", "big data", dan "circular economy". Fokus pada tahun ini mencerminkan pergeseran ke arah keberlanjutan sebagai prioritas utama, dengan penekanan pada bagaimana digitalisasi dapat mendukung ekonomi yang lebih berkelanjutan dan rantai pasokan yang efisien. Penggunaan big data menjadi kunci dalam mengoptimalkan proses dan mengimplementasikan prinsip ekonomi sirkular, dengan tujuan untuk mencapai operasi yang lebih ramah lingkungan dan efisien sumber daya.

Visualisasi ini secara kronologis menunjukkan evolusi fokus penelitian dari pengembangan kapasitas dan infrastruktur menuju implementasi strategis dan, akhirnya, ke integrasi berkelanjutan dari teknologi dalam operasi bisnis. Tahun 2019 hingga 2021 menunjukkan pergeseran dari dasar-dasar ke aplikasi yang lebih maju dan terintegrasi dari teknologi digital, dengan peningkatan fokus pada keberlanjutan dan efisiensi ekonomi di tahun terakhir. Ini menggambarkan bagaimana prioritas dalam penelitian dan penerapan teknologi berubah seiring dengan meningkatnya kesadaran global tentang isu-isu keberlanjutan.

D. Top Cited Literature

Tabel 2. Literatur Teratas yang Disitir

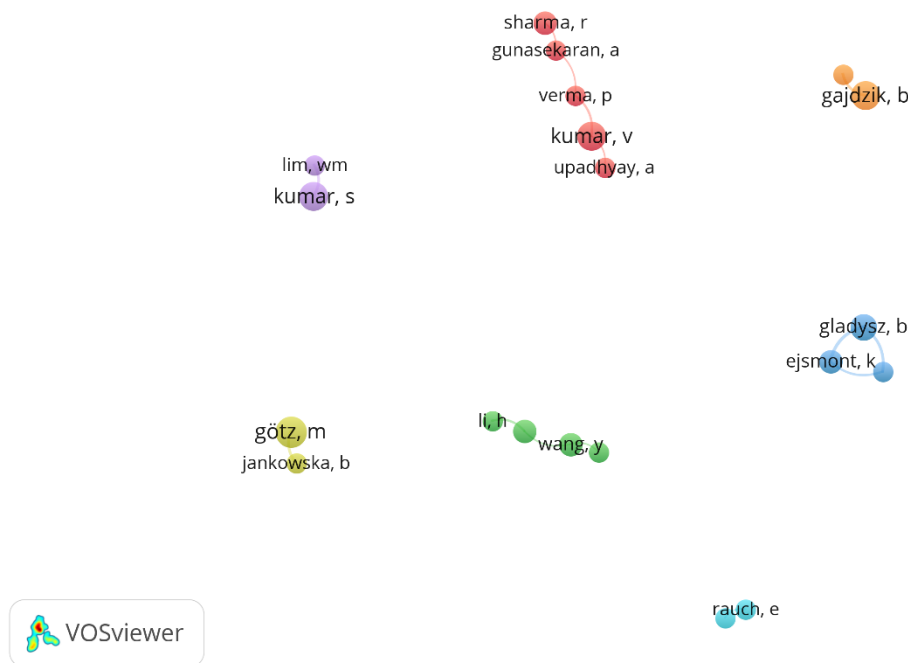
Citations	Authors and year	Title
10666	(Kessler et al., 2002)	Short screening scales to monitor population prevalences and trends in non-specific psychological distress
5612	(Guo et al., 2017)	On calibration of modern neural networks
5154	(Kitchenham et al., 2009)	Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review
4668	(Guthold et al., 2018)	Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1·9 million participants
4052	(Vandermerwe & Rada, 1988)	Servitization of business: adding value by adding services
3833	(Man et al., 2011)	Universality in oxygen evolution electrocatalysis on oxide surfaces
3387	(L. Da Xu et al., 2018)	Industry 4.0: state of the art and future trends
2709	(Alkema et al., 2016)	Global, regional, and national levels and trends in maternal mortality between 1990 and 2015, with scenario-based projections to 2030: a systematic analysis ...

Citations	Authors and year	Title
2654	(Tacon & Metian, 2008)	Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects
2585	(Harvey, 2008)	Natural products in drug discovery

Sumber: Output Publish or Perish, 2024

Tabel ini menampilkan daftar literatur yang paling banyak disitir dalam sebuah bidang studi, mencakup berbagai topik dari kesehatan mental hingga teknologi dan inovasi. Artikel oleh Kessler et al. (2002), yang mengembangkan skala skrining singkat untuk memonitor prevalensi dan tren gangguan psikologis non-spesifik di populasi, menempati posisi teratas dengan 10,666 sitasi, menunjukkan penggunaannya yang luas dalam penelitian epidemiologis. Artikel oleh Guo et al. (2017) tentang kalibrasi jaringan saraf modern menduduki posisi kedua dengan 5,612 sitasi, mencerminkan pentingnya penelitian ini dalam pengembangan kecerdasan buatan. Selanjutnya, penelitian oleh Kitchenham et al. (2009) yang mengevaluasi review literatur sistematis dalam rekayasa perangkat lunak juga sangat berpengaruh dengan 5,154 sitasi. Artikel lainnya mencakup topik seperti aktivitas fisik, servitisasi bisnis, katalisis elektrokimia, Industri 4.0, mortalitas maternal, penggunaan bahan dalam pakan ikan, dan penemuan obat dari produk alami, masing-masing menunjukkan keberagaman dan kedalaman penelitian dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi.

E. Analisis Kolaborasi Penulis



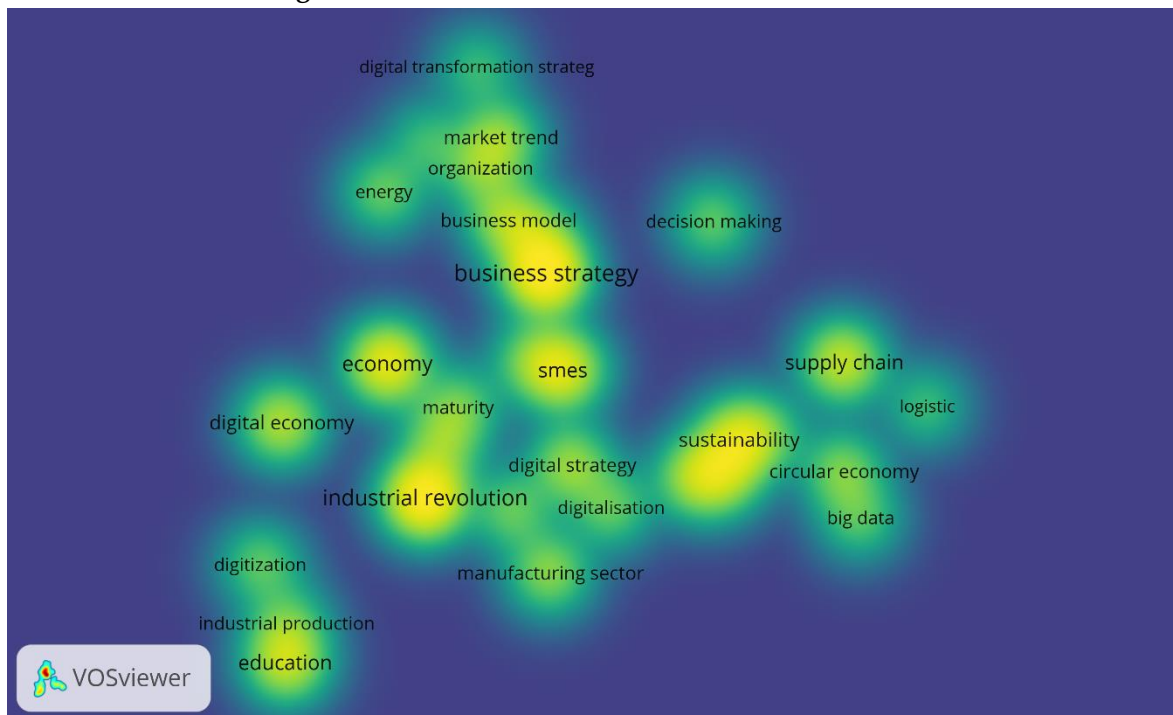
Gambar 3. Analisis Kolaborasi Penulis

Sumber: Data Diolah, 2024

Gambar ketiga ini merupakan visualisasi jaringan ko-otoritas atau kolaborasi antar peneliti yang dibuat menggunakan VOSviewer. Setiap titik (node) merepresentasikan seorang peneliti, dan posisi serta koneksi antar titik mencerminkan frekuensi dan/atau kekuatan kolaborasi antara para

peneliti tersebut dalam karya ilmiah. Dalam gambar ini, terdapat beberapa klaster yang diindikasikan oleh warna berbeda, yang menunjukkan kelompok-kelompok peneliti yang cenderung sering bekerja sama. Misalnya, klaster hijau yang menampilkan peneliti seperti "Li, H" dan "Wang, Y" mungkin menunjukkan kolaborasi yang sering terjadi antara dua peneliti ini atau dalam grup yang sama. Klaster ungu dan biru mungkin merepresentasikan grup penelitian lain atau jaringan kolaboratif yang terpisah. Klaster oranye dengan peneliti "Gajdzik, B" menandakan adanya kolaborasi atau publikasi yang signifikan yang cukup terisolasi dari peneliti lain dalam visualisasi. Visualisasi ini membantu dalam mengidentifikasi pusat-pusat kolaborasi dan potensi pengaruh peneliti individu dalam jaringan akademis mereka.

F. Analisis Peluang Penelitian



Gambar 4. Visualisasi Densitas

Sumber: Data Diolah, 2024

Gambar terakhir ini adalah visualisasi densitas kata kunci menggunakan VOSviewer, yang menampilkan frekuensi dan keterkaitan antar kata kunci dalam literatur yang terkait. Area terang menunjukkan konsentrasi tinggi publikasi atau diskusi, sementara area redup menunjukkan area yang kurang dieksplorasi atau yang memiliki potensi penelitian yang belum banyak digali.

Area yang terang (warna kuning dan hijau terang) menunjukkan kata kunci seperti "sustainability," "supply chain," "digital economy," dan "sme's," yang menandakan bahwa topik-topik ini telah mendapatkan banyak perhatian dan mungkin sudah jenuh dengan penelitian. Hal ini menunjukkan adanya banyak literatur dan diskusi dalam topik-topik seperti keberlanjutan, strategi ekonomi digital, dan pengaruhnya pada rantai pasok dan UMKM.

Di sisi lain, area yang lebih redup (warna biru dan hijau gelap) mengindikasikan topik seperti "education," "industrial production," dan "logistic." Ketiadaan warna terang di sekitar kata kunci ini menunjukkan bahwa mungkin ada ruang untuk penelitian lebih dalam atau inovasi dalam bidang-bidang tersebut. Peluang penelitian di area redup ini mungkin termasuk:

1. Di tahun ini, terdapat peningkatan signifikan pada tema-tema seperti "sustainability", "supply chain", "digital economy", "big data", dan "circular economy". Fokus pada tahun ini mencerminkan pergeseran ke arah keberlanjutan sebagai prioritas utama, dengan penekanan pada bagaimana digitalisasi dapat mendukung ekonomi yang lebih berkelanjutan dan rantai pasokan yang efisien. Penggunaan big data menjadi kunci dalam mengoptimalkan proses dan mengimplementasikan prinsip ekonomi sirkular, dengan tujuan untuk mencapai operasi yang lebih ramah lingkungan dan efisien sumber daya.
2. Di tahun ini, terdapat peningkatan signifikan pada tema-tema seperti "sustainability", "supply chain", "digital economy", "big data", dan "circular economy". Fokus pada tahun ini mencerminkan pergeseran ke arah keberlanjutan sebagai prioritas utama, dengan penekanan pada bagaimana digitalisasi dapat mendukung ekonomi yang lebih berkelanjutan dan rantai pasokan yang efisien. Penggunaan big data menjadi kunci dalam mengoptimalkan proses dan mengimplementasikan prinsip ekonomi sirkular, dengan tujuan untuk mencapai operasi yang lebih ramah lingkungan dan efisien sumber daya.
3. Di tahun ini, terdapat peningkatan signifikan pada tema-tema seperti "sustainability", "supply chain", "digital economy", "big data", dan "circular economy". Fokus pada tahun ini mencerminkan pergeseran ke arah keberlanjutan sebagai prioritas utama, dengan penekanan pada bagaimana digitalisasi dapat mendukung ekonomi yang lebih berkelanjutan dan rantai pasokan yang efisien. Penggunaan big data menjadi kunci dalam mengoptimalkan proses dan mengimplementasikan prinsip ekonomi sirkular, dengan tujuan untuk mencapai operasi yang lebih ramah lingkungan dan efisien sumber daya.

KESIMPULAN

Analisis visualisasi VOSviewer dari empat perspektif yang berbeda—klasterisasi tema, tren penelitian, kolaborasi penulis, dan peluang penelitian—memberikan wawasan komprehensif mengenai dinamika dan evolusi penelitian dalam konteks transformasi digital dan keberlanjutan. Klasterisasi tema mengungkap interkoneksi antara digitalisasi, strategi bisnis, dan keberlanjutan, sedangkan tren penelitian menyoroti pergeseran fokus dari pendidikan dan logistik menuju strategi transformasi digital dan keberlanjutan yang matang dari tahun ke tahun. Analisis kolaborasi penulis mengidentifikasi hubungan kunci dan jaringan kolaboratif yang dapat membantu dalam memahami pengaruh dan kontribusi peneliti individu. Terakhir, peluang penelitian yang diidentifikasi melalui area redup pada visualisasi densitas menunjukkan bidang-bidang yang memerlukan eksplorasi lebih lanjut, terutama dalam pendidikan, produksi industri, dan logistik, menawarkan arah baru untuk inovasi dan pertumbuhan ilmiah. Melalui pendekatan multidimensi ini, kita dapat lebih memahami bagaimana elemen-elemen ini saling terkait dan berkontribusi terhadap perkembangan penelitian dan praktek di era digital saat ini.

REFERENSI

- Ahmad, M. F., Husin, N. A. A., Ahmad, A. N. A., Abdullah, H., Wei, C. S., & Nawawi, M. N. M. (2022). Digital transformation: An exploring barriers and challenges practice of artificial intelligence in manufacturing firms in Malaysia. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 29(1), 110–117.
- Alkema, L., Chou, D., Hogan, D., Zhang, S., Moller, A.-B., Gemmill, A., Fat, D. M., Boerma, T., Temmerman, M., & Mathers, C. (2016). Global, regional, and national levels and trends in maternal mortality between 1990 and 2015, with scenario-based projections to 2030: a systematic analysis by the UN Maternal Mortality Estimation Inter-Agency Group. *The Lancet*, 387(10017), 462–474.
- Bloem, J., Van Doorn, M., Duivesteyn, S., Excoffier, D., Maas, R., & Van Ommeren, E. (2014). The fourth industrial revolution. *Things Tighten*, 8(1), 11–15.
- Bonilla, S. H., Silva, H. R. O., Terra da Silva, M., Franco Gonçalves, R., & Sacomano, J. B. (2018). Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges. *Sustainability*, 10(10), 3740.
- Frank, A. G., Mendes, G. H. S., Ayala, N. F., & Ghezzi, A. (2019). Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 141, 341–351.
- Guo, C., Pleiss, G., Sun, Y., & Weinberger, K. Q. (2017). On calibration of modern neural networks. *International Conference on Machine Learning*, 1321–1330.
- Guthold, R., Stevens, G. A., Riley, L. M., & Bull, F. C. (2018). Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants. *The Lancet Global Health*, 6(10), e1077–e1086.
- Harvey, A. L. (2008). Natural products in drug discovery. *Drug Discovery Today*, 13(19–20), 894–901.
- Ji, K., Liu, X., & Xu, J. (2023). Digital economy and the sustainable development of China's manufacturing industry: from the perspective of industry performance and green development. *Sustainability*, 15(6), 5121.
- Kagermann, H., Anderl, R., Gausemeier, J., Schuh, G., & Wahlster, W. (2016). *Industrie 4.0 in a Global Context: strategies for cooperating with international partners*. Herbert Utz Verlag.
- Kessler, R., Andrews, G., Colpe, L., EE, H., Mroczek, D., Normand, S.-L., Walters, E., & Zaslavsky, A. (2002). Short Screening Scales to Monitor Population Prevalences and Trends in Non-Specific Psychological Distress. *Psychological Medicine*, 32, 959–976. <https://doi.org/10.1017/S0033291702006074>
- Kitchenham, B., Brereton, O. P., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. *Information and Software Technology*, 51(1), 7–15.
- Lee, K., & Ki, J. (2017). Rise of latecomers and catch-up cycles in the world steel industry. *Research Policy*, 46(2), 365–375.
- Li, H., & Yang, C. (2021). Digital transformation of manufacturing enterprises. *Procedia Computer Science*, 187, 24–29.
- Loghin, E.-C., Vâlcu, A., & Verzea, I. (2023). Particularities of the Digital Transformation of the Manufacturing Industries. *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iași. Machine Constructions Section*, 69(1), 123–135.
- Man, I. C., Su, H., Calle-Vallejo, F., Hansen, H. A., Martínez, J. I., Inoglu, N. G., Kitchin, J., Jaramillo, T. F., Nørskov, J. K., & Rossmeisl, J. (2011). Universality in oxygen evolution electrocatalysis on oxide surfaces. *ChemCatChem*, 3(7), 1159–1165.
- Miao, Z., & Zhao, G. (2023). Impacts of digital information management systems on green transformation of manufacturing enterprises. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 1840.
- Mustapić, M., Trstenjak, M., Gregurić, P., & Opetuk, T. (2023). Implementation and use of digital, green and sustainable technologies in internal and external transport of manufacturing companies. *Sustainability*, 15(12), 9557.
- Ranka, D., & Vasudevan, H. (2023). Influence of Digitized Transforming Enablers on Manufacturing Performance in the Context of Economic Dimension of Sustainability. *Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation: ICIMA 2022*, 303–312.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 9(1), 54–89.
- Samaraz, D. Ş. (2023). Smart Factory in the Context of Digital Transformation. In *Two Faces of Digital*

- Transformation (pp. 129–140). Emerald Publishing Limited.
- Si, H., Tian, Z., Guo, C., & Zhang, J. (2023). The driving effect of digital economy on green transformation of manufacturing. *Energy & Environment*, 0958305X231155494.
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1–4), 146–158.
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0—a glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238.
- Vandermerwe, S., & Rada, J. (1988). Servitization of business: adding value by adding services. *European Management Journal*, 6(4), 314–324.
- 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, M., David, J. M., & Kim, S. H. (2018). The fourth industrial revolution: Opportunities and challenges. *International Journal of Financial Research*, 9(2), 90–95.
- Yaqub, M. Z., & Alsabban, A. (2023). Industry-4.0-Enabled digital transformation: prospects, instruments, challenges, and implications for business strategies. *Sustainability*, 15(11), 8553.
- Ahmad, M. F., Husin, N. A. A., Ahmad, A. N. A., Abdullah, H., Wei, C. S., & Nawawi, M. N. M. (2022). Digital transformation: An exploring barriers and challenges practice of artificial intelligence in manufacturing firms in Malaysia. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 29(1), 110–117.
- Alkema, L., Chou, D., Hogan, D., Zhang, S., Moller, A.-B., Gemmill, A., Fat, D. M., Boerma, T., Temmerman, M., & Mathers, C. (2016). Global, regional, and national levels and trends in maternal mortality between 1990 and 2015, with scenario-based projections to 2030: a systematic analysis by the UN Maternal Mortality Estimation Inter-Agency Group. *The Lancet*, 387(10017), 462–474.
- Bloem, J., Van Doorn, M., Duivesteyn, S., Excoffier, D., Maas, R., & Van Ommeren, E. (2014). The fourth industrial revolution. *Things Tighten*, 8(1), 11–15.
- Bonilla, S. H., Silva, H. R. O., Terra da Silva, M., Franco Gonçalves, R., & Sacomano, J. B. (2018). Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges. *Sustainability*, 10(10), 3740.
- Frank, A. G., Mendes, G. H. S., Ayala, N. F., & Ghezzi, A. (2019). Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 141, 341–351.
- Guo, C., Pleiss, G., Sun, Y., & Weinberger, K. Q. (2017). On calibration of modern neural networks. *International Conference on Machine Learning*, 1321–1330.
- Guthold, R., Stevens, G. A., Riley, L. M., & Bull, F. C. (2018). Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants. *The Lancet Global Health*, 6(10), e1077–e1086.
- Harvey, A. L. (2008). Natural products in drug discovery. *Drug Discovery Today*, 13(19–20), 894–901.
- Ji, K., Liu, X., & Xu, J. (2023). Digital economy and the sustainable development of China's manufacturing industry: from the perspective of industry performance and green development. *Sustainability*, 15(6), 5121.
- Kagermann, H., Anderl, R., Gausemeier, J., Schuh, G., & Wahlster, W. (2016). *Industrie 4.0 in a Global Context: strategies for cooperating with international partners*. Herbert Utz Verlag.
- Kessler, R., Andrews, G., Colpe, L., EE, H., Mroczek, D., Normand, S.-L., Walters, E., & Zaslavsky, A. (2002). Short Screening Scales to Monitor Population Prevalences and Trends in Non-Specific Psychological Distress. *Psychological Medicine*, 32, 959–976. <https://doi.org/10.1017/S0033291702006074>
- Kitchenham, B., Brereton, O. P., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. *Information and Software Technology*, 51(1), 7–15.
- Lee, K., & Ki, J. (2017). Rise of latecomers and catch-up cycles in the world steel industry. *Research Policy*, 46(2), 365–375.
- Li, H., & Yang, C. (2021). Digital transformation of manufacturing enterprises. *Procedia Computer Science*, 187, 24–29.
- Loghin, E.-C., Vâlcu, A., & Verzea, I. (2023). Particularities of the Digital Transformation of the Manufacturing Industries. *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iași. Machine Constructions Section*, 69(1), 123–135.
- Man, I. C., Su, H., Calle-Vallejo, F., Hansen, H. A., Martínez, J. I., Inoglu, N. G., Kitchin, J., Jaramillo, T. F., Nørskov, J. K., & Rossmeisl, J. (2011). Universality in oxygen evolution electrocatalysis on oxide surfaces.

- ChemCatChem*, 3(7), 1159–1165.
- Miao, Z., & Zhao, G. (2023). Impacts of digital information management systems on green transformation of manufacturing enterprises. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 1840.
- Mustapić, M., Trstenjak, M., Gregurić, P., & Opetuk, T. (2023). Implementation and use of digital, green and sustainable technologies in internal and external transport of manufacturing companies. *Sustainability*, 15(12), 9557.
- Ranka, D., & Vasudevan, H. (2023). Influence of Digitized Transforming Enablers on Manufacturing Performance in the Context of Economic Dimension of Sustainability. *Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation: ICIMA 2022*, 303–312.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 9(1), 54–89.
- Samaraz, D. Ş. (2023). Smart Factory in the Context of Digital Transformation. In *Two Faces of Digital Transformation* (pp. 129–140). Emerald Publishing Limited.
- Si, H., Tian, Z., Guo, C., & Zhang, J. (2023). The driving effect of digital economy on green transformation of manufacturing. *Energy & Environment*, 0958305X231155494.
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1–4), 146–158.
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0—a glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238.
- Vandermerwe, S., & Rada, J. (1988). Servitization of business: adding value by adding services. *European Management Journal*, 6(4), 314–324.
- 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, M., David, J. M., & Kim, S. H. (2018). The fourth industrial revolution: Opportunities and challenges. *International Journal of Financial Research*, 9(2), 90–95.
- Yaqub, M. Z., & Alsabban, A. (2023). Industry-4.0-Enabled digital transformation: prospects, instruments, challenges, and implications for business strategies. *Sustainability*, 15(11), 8553.