

Analisis Bibliometrik terhadap Penelitian *Collaborative Robots* dalam Manufaktur

Muhammad Zulfahmi

Teknik Manufaktur/Politeknik Manufaktur Bandung

Email: mzulfahmi438@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to analyze the evolution and research trends of collaborative robots (cobots) in manufacturing using a bibliometric approach. Data retrieved from the Scopus database were analyzed using VOSviewer software to map keyword relationships (co-occurrence), temporal dynamics (overlay visualization), and research density (density visualization). The analysis reveals six primary clusters representing research themes, which include digital technology integration, artificial intelligence-based smart manufacturing, human-robot interaction, human-centric approaches, data-driven analytics, and assembly line balancing. The overlay visualization indicates a research evolution from conventional robotics toward human-robot collaboration and the integration of smart technologies such as digital twins, mixed reality, and reinforcement learning. Meanwhile, the density analysis highlights human-robot collaboration and collaborative robots as high-intensity topics, whereas topics such as human-centric manufacturing, trust, mixed reality, and assembly line balancing remain relatively underexplored. These findings highlight significant avenues for future research, particularly regarding smart technology integration and production system optimization based on human-robot collaboration.

Keywords: Human-Robot Collaboration, Bibliometric Analysis, Smart Manufacturing, Industry 5.0, VOSviewer.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis perkembangan dan tren riset terkait collaborative robots (cobots) dalam bidang manufaktur menggunakan pendekatan bibliometrik. Data yang diperoleh dari basis data Scopus dianalisis menggunakan perangkat lunak VOSviewer untuk memetakan hubungan antar kata kunci (co-occurrence), dinamika temporal (overlay visualization), dan tingkat kepadatan penelitian (density visualization). Hasil analisis menunjukkan enam kluster utama yang merepresentasikan tema penelitian, meliputi integrasi teknologi digital, manufaktur cerdas berbasis kecerdasan buatan, interaksi manusia-robot, pendekatan human-centric, analitik berbasis data, serta assembly line balancing. Visualisasi overlay mengindikasikan adanya evolusi riset dari robotika konvensional menuju kolaborasi manusia-robot hingga integrasi teknologi cerdas seperti digital twin, mixed reality, reinforcement learning. Sementara itu, analisis kepadatan menunjukkan bahwa topik seperti human-robot collaboration dan collaborative robots sebagai topik berintensitas tinggi, sedangkan topik seperti human-centric manufacturing, trust, mixed reality, dan assembly line balancing masih relatif jarang diteliti. Temuan ini membuka peluang riset lanjutan, khususnya dalam integrasi teknologi cerdas dan optimasi sistem produksi berbasis kolaborasi manusia-robot.

Kata Kunci: Human-Robot Collaboration, Bibliometric Analysis, Smart Manufacturing, Industry 5.0, VOSviewer

A. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi industri dalam beberapa tahun terakhir telah mendorong transformasi signifikan menuju sistem manufaktur yang lebih cerdas, fleksibel, dan terintegrasi. Konsep Industri 4.0 menekankan otomatisasi berbasis *cyber-physical systems*, *Internet of Things* (IoT), serta integrasi data secara *real-time* untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Namun, pendekatan ini cenderung berorientasi pada otomatisasi penuh yang dalam beberapa implementasi mengurangi keterlibatan manusia dalam proses produksi [1].

Sebagai respons terhadap keterbatasan tersebut, muncul paradigma Industri 5.0 yang menempatkan manusia kembali sebagai pusat dalam sistem produksi (*human-centric*) [2]. Revolusi Industri 5.0 menekankan integrasi antara manusia dan teknologi dalam sistem produksi, yang di dalamnya kolaborasi antara keduanya dirancang untuk meningkatkan efisiensi sekaligus mempertahankan peran kreativitas manusia. Pendekatan ini menggabungkan kemampuan kognitif manusia dengan keunggulan teknologi melalui pemanfaatan berbagai teknologi, seperti pencetakan 3D, *collaborative robots* (*cobots*), serta teknologi digital lainnya untuk mendukung sistem produksi yang lebih adaptif dan berkelanjutan [3]. Salah satu implementasi utama dari konsep ini adalah penggunaan *cobots*, yang dirancang untuk bekerja secara langsung berdampingan dengan manusia dalam lingkungan kerja yang sama. Berbeda dengan robot konvensional yang biasanya beroperasi secara terpisah, *cobots* memiliki kemampuan untuk berinteraksi secara langsung dengan tenaga kerja manusia di ruang kerja yang sama untuk meningkatkan produktivitas, fleksibilitas, serta meminimalisir waktu henti atau *downtime* mesin [4], [5].

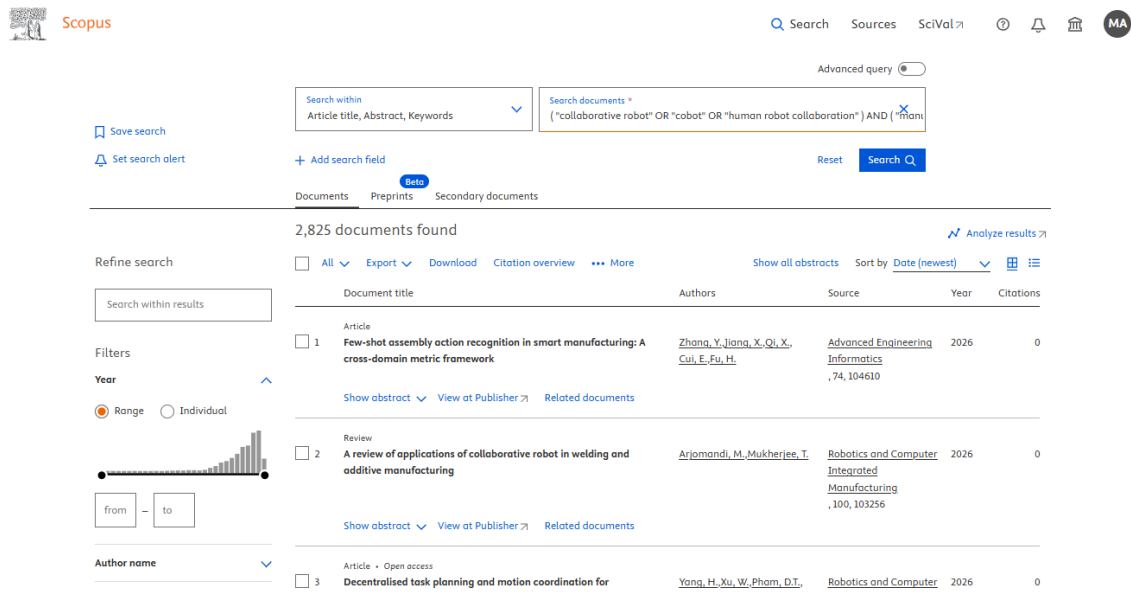
Cobots dilengkapi dengan berbagai fitur, seperti sensor keselamatan, sistem deteksi tabrakan, serta kemampuan pembelajaran gerakan yang memastikan interaksi yang aman dan lebih intuitif dengan manusia. Kolaborasi antara manusia dan *cobot* ini menciptakan peluang baru dalam sistem produksi, khususnya dalam menggabungkan keunggulan penilaian dan ketelitian manusia dengan kecepatan serta kekuatan yang dimiliki robot. Sebagai contoh, pada proses perakitan produk elektronik, manusia dapat berfokus pada pekerjaan presisi, seperti pemasangan komponen berukuran kecil, sementara *cobot* bertugas menangani pemindahan serta penempatan komponen yang lebih besar dan berat [6]. Hal ini menjadikan *collaborative robots* sebagai salah satu teknologi kunci dalam transformasi sistem produksi modern.

Meskipun demikian, perkembangan penelitian terkait *collaborative robots* menunjukkan keragaman yang tinggi, baik dari segi topik, pendekatan, maupun aplikasi [7]. Penelitian yang ada tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga mencakup faktor manusia, seperti keselamatan, kepercayaan, dan interaksi manusia-robot [7], [8]. Seiring dengan meningkatnya perhatian terhadap topik ini dalam beberapa tahun terakhir, kajian yang secara komprehensif memetakan tren penelitian, khususnya dalam domain manufaktur, masih relatif terbatas.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren global penelitian terkait *collaborative robots* dalam industri manufaktur menggunakan pendekatan bibliometrik. Analisis ini mencakup perkembangan jumlah publikasi tahunan, distribusi publikasi berdasarkan dokumen, jurnal, negara, dan institusi, serta identifikasi fokus penelitian melalui pemetaan kata kunci. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai arah perkembangan riset serta mengidentifikasi peluang dan kesenjangan penelitian di masa depan.

B. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan bibliometrik, yaitu metode kuantitatif yang digunakan untuk menganalisis dan memetakan perkembangan literatur ilmiah berdasarkan data publikasi seperti penulis, kata kunci, tahun terbit, serta hubungan antar dokumen. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi pola, tren, dan struktur pengetahuan dalam suatu bidang penelitian secara sistematis [9]. Data penelitian dikumpulkan secara langsung melalui database Scopus.



Gambar 1. Hasil Penelusuran Data Scopus

Gambar 1 menunjukkan tahapan awal dalam proses pengumpulan data yang dilakukan melalui database Scopus dengan menggunakan kata kunci ("collaborative robot" OR "cobot" OR "human robot collaboration") AND ("manufacturing" OR "industrial application"). Dari hasil pencarian awal, diperoleh sebanyak 2.825 dokumen yang dijadikan sebagai populasi penelitian. Selanjutnya, dilakukan proses penyaringan data berdasarkan kriteria seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Penyaringan Dokumen

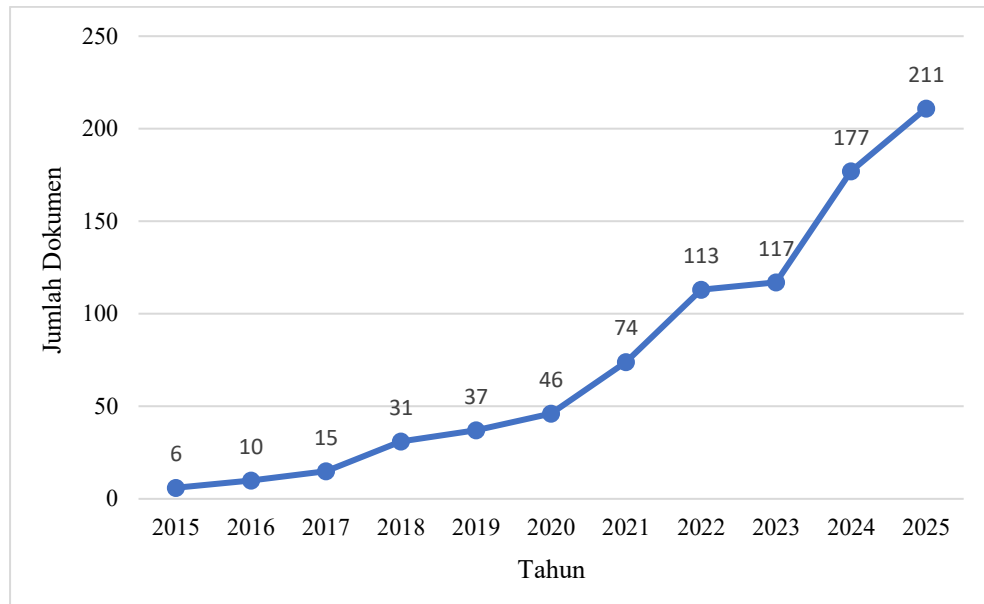
Kriteria	
Rentang Tahun	2015-2025
Bidang Keilmuan	Engineering, Computer Science
Jenis Dokumen	Article
Tahap Publikasi	Final
Jenis Sumber Publikasi	Journal
Bahasa	English

Berdasarkan proses penyaringan tersebut, diperoleh sebanyak 837 dokumen yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini. Seluruh data kemudian diekspor dalam format CSV untuk keperluan pengolahan dan analisis lebih lanjut. Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak VOSviewer untuk memetakan tren publikasi ilmiah internasional berdasarkan data Scopus terkait collaborative robots dalam industri manufaktur. VOSviewer digunakan untuk membangun dan memvisualisasikan jaringan bibliometrik sehingga dapat menunjukkan hubungan antar elemen seperti kata kunci dalam suatu bidang penelitian [9]. Analisis difokuskan pada pemetaan jaringan kata kunci dengan pendekatan co-occurrence, yaitu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antar topik berdasarkan kemunculan kata kunci secara bersamaan dalam dokumen ilmiah, sehingga dapat mengungkap pola keterkaitan serta perkembangan tren penelitian secara sistematis [10].

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Distribusi Dokumen Tahunan

Hasil pencarian artikel terindeks Scopus mengenai penelitian *collaborative robots* dalam industri manufaktur dengan rentang tahun 2015 hingga 2025 menunjukkan tren peningkatan jumlah publikasi seperti yang disajikan pada gambar berikut.



Gambar 2. Distribusi Dokumen Tahunan

Gambar 2 menampilkan distribusi jumlah publikasi terkait *collaborative robots* dalam industri manufaktur pada rentang tahun 2015 hingga 2025. Berdasarkan data tersebut, terlihat adanya tren peningkatan jumlah publikasi yang cukup signifikan dari tahun ke tahun. Pada tahun 2015 hingga 2017, jumlah publikasi masih tergolong rendah, masing-masing sebanyak 6, 10, dan 15 dokumen. Peningkatan mulai terlihat pada tahun 2018 dan 2019 dengan jumlah publikasi masing-masing sebesar 31 dan 37 dokumen. Tren kenaikan ini berlanjut pada tahun 2020 dengan 46 dokumen dan meningkat cukup signifikan pada tahun 2021 menjadi 74 dokumen. Lonjakan publikasi yang lebih tinggi terjadi pada tahun 2022 dengan jumlah mencapai 113 dokumen, dan sedikit meningkat pada tahun 2023 menjadi 117 dokumen. Peningkatan yang sangat signifikan kembali terjadi pada tahun 2024 dengan 177 dokumen, dan mencapai puncaknya pada tahun 2025 dengan jumlah publikasi tertinggi sebesar 211 dokumen. Namun demikian, data pada tahun berjalan (2026) tidak dimasukkan dalam analisis karena masih berada pada periode awal tahun saat proses pengumpulan data, sehingga jumlah publikasi yang terindeks belum merepresentasikan kondisi sebenarnya. Penyertaan data tersebut berpotensi menimbulkan bias penurunan dalam interpretasi tren publikasi.

Secara keseluruhan, tren ini menunjukkan bahwa penelitian terkait *collaborative robots* dalam industri manufaktur mengalami peningkatan yang konsisten dan signifikan, terutama dalam beberapa tahun terakhir, yang mengindikasikan semakin tingginya minat dan perhatian terhadap topik tersebut di kalangan peneliti. Hal ini sejalan dengan meningkatnya adopsi teknologi robotika di sektor industri yang terus berkembang dari waktu ke waktu karena potensinya yang signifikan dalam merevolusi proses manufaktur [5]. Selain itu, *collaborative robots* juga dinilai mampu menekan biaya operasional sehingga lebih efisien bagi berbagai jenis perusahaan [11].

2. Top 10 Dokumen Paling Banyak Dikutip

Publikasi ilmiah yang terindeks dalam Scopus umumnya memiliki peran penting sebagai rujukan dalam penelitian selanjutnya. Jumlah sitasi yang tinggi menunjukkan bahwa suatu artikel memiliki tingkat pemanfaatan yang luas oleh peneliti lain. Berdasarkan hasil penelusuran pada database Scopus dengan kata kunci yang telah ditetapkan, diperoleh sejumlah dokumen yang kemudian dianalisis berdasarkan jumlah sitasinya. 10 dokumen dengan jumlah sitasi tertinggi ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Dokumen Paling Banyak Dikutip Secara Global

Rank	Penulis	Tahun	Judul	Sumber	TK
1	Villani <i>et al.</i>	2018	<i>Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications</i>	<i>Mechatronics</i>	1071
2	Lu <i>et al.</i>	2022	<i>Outlook on human-centric manufacturing towards Industry 5.0</i>	<i>Journal of Manufacturing Systems</i>	589
3	Hentout <i>et al.</i>	2019	<i>Human–robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008–2017</i>	<i>Advanced Robotics</i>	404
4	Zanchettin <i>et al.</i>	2016	<i>Safety in Human-Robot Collaborative Manufacturing Environments: Metrics and Control</i>	<i>IEEE Transactions on Automation Science and Engineering</i>	370
5	Raja Santhi & Muthuswamy	2023	<i>Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies</i>	<i>International Journal on Interactive Design and Manufacturing</i>	309
6	Rozo <i>et al.</i>	2016	<i>Learning Physical Collaborative Robot Behaviors From Human Demonstrations</i>	<i>IEEE Transactions on Robotics</i>	283
7	Sharma <i>et al.</i>	2024	<i>Edge Computing for Industry 5.0: Fundamental, Applications, and Research Challenges</i>	<i>IEEE Internet of Things Journal</i>	241
8	Coronado <i>et al.</i>	2022	<i>Evaluating quality in human-robot interaction: A systematic search and classification of performance and human-centered factors, measures and metrics towards industry 5.0</i>	<i>Journal of Manufacturing Systems</i>	233
9	Wang <i>et al.</i>	2018	<i>Deep learning-based human motion recognition for predictive context-aware human-robot collaboration</i>	<i>CIRP Annals</i>	227
10	Hietanen <i>et al.</i>	2020	<i>AR-based interaction for human-robot collaborative manufacturing</i>	<i>Robotics and Computer-Integrated Manufacturing</i>	222

Catatan: TK = Total Kutipan

Berdasarkan Tabel 2, dokumen yang ditulis oleh Villani *et al.* [12] menempati peringkat pertama dengan jumlah sitasi tertinggi, yaitu sebanyak 1071 kutipan. Selanjutnya, artikel oleh Lu *et al.* [13] dan Hentout *et al.* [14] masing-masing berada pada peringkat kedua dan ketiga

dengan jumlah sitasi sebesar 589 dan 404 kutipan. Selain itu, dokumen lain dalam daftar ini juga menunjukkan jumlah sitasi yang relatif tinggi, seperti oleh Zanchettin *et al.* [15] dengan 370 kutipan dan oleh Raja Santhi & Muthuswamy [16] dengan 309 kutipan. Sementara itu, lima dokumen lainnya memiliki jumlah sitasi dalam rentang 222 hingga 283 kutipan.

Perbedaan jumlah sitasi antar dokumen menunjukkan adanya variasi tingkat pengaruh masing-masing penelitian dalam bidang *collaborative robot* di sektor manufaktur. Dokumen dengan jumlah sitasi yang lebih tinggi dapat diindikasikan memiliki tingkat visibilitas dan pemanfaatan yang lebih luas dalam penelitian lanjutan. Selain itu, tingginya jumlah sitasi pada beberapa artikel utama juga menunjukkan bahwa penelitian-penelitian tersebut berperan sebagai *foundational research* atau rujukan utama dalam pengembangan topik *collaborative robotics*, baik dari sisi konsep, implementasi, maupun arah pengembangan teknologi di masa depan.

3. Top 10 Jurnal dengan Kontribusi Publikasi Terbanyak

Analisis terhadap sumber publikasi dilakukan untuk mengidentifikasi jurnal-jurnal yang paling aktif dalam menerbitkan artikel pada topik penelitian yang dikaji. Pada bagian ini disajikan 10 jurnal dengan jumlah publikasi terbanyak berdasarkan data yang diperoleh.

Tabel 3. Top 10 Jurnal dengan Kontribusi Publikasi Terbanyak

Rank	Nama Jurnal	Jumlah Artikel
1	<i>Robotics and Computer Integrated Manufacturing</i>	58
2	<i>Journal of Manufacturing Systems</i>	45
3	<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	42
4	<i>IEEE Transactions on Automation Science and Engineering</i>	42
5	<i>Applied Sciences (Switzerland)</i>	26
6	<i>Sensors</i>	24
7	<i>IEEE Access</i>	23
8	<i>Machines</i>	18
9	<i>International Journal of Computer Integrated Manufacturing</i>	18
10	<i>Computers and Industrial Engineering</i>	17

Berdasarkan Tabel 3, jurnal *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* menempati posisi pertama sebagai jurnal yang paling banyak memuat artikel terkait topik penelitian ini, dengan total 58 artikel dari keseluruhan 837 dokumen yang dianalisis. Posisi berikutnya ditempati oleh *Journal of Manufacturing Systems* dengan 45 artikel. Sementara itu, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* dan *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* masing-masing memuat 42 artikel. Jurnal-jurnal lain seperti *Applied Sciences*, *Sensors*, dan *IEEE Access* juga menunjukkan kontribusi yang cukup signifikan dalam mempublikasikan artikel pada topik ini. Di sisi lain, beberapa jurnal seperti *Machines*, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, dan *Computers and Industrial Engineering* tetap berperan sebagai wadah publikasi, meskipun dengan jumlah artikel yang relatif lebih sedikit.

Temuan ini menunjukkan bahwa penelitian pada topik *collaborative robots* dalam industri manufaktur tidak terpusat pada satu sumber saja, melainkan tersebar di berbagai jurnal ilmiah. Dominasi jurnal yang berfokus pada bidang manufaktur, otomasi, dan rekayasa sistem industri mengindikasikan bahwa topik ini memiliki keterkaitan yang erat dengan perkembangan teknologi produksi modern. Selain itu, distribusi publikasi yang cukup merata juga mencerminkan sifat multidisipliner dari *collaborative robotics*, yang tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis, tetapi juga integrasi sistem, efisiensi produksi, serta interaksi manusia dan mesin.

4. Top 20 Negara atau Wilayah dengan Kontribusi Publikasi Tertinggi

Analisis terhadap kontribusi publikasi berdasarkan negara atau wilayah dilakukan untuk mengidentifikasi distribusi geografis penelitian pada topik yang dikaji. Pada bagian ini disajikan 20 negara atau wilayah dengan jumlah publikasi tertinggi berdasarkan data yang diperoleh.

Tabel 4. Top 20 Negara atau Wilayah dengan Kontribusi Publikasi Tertinggi

Rank	Negara atau Wilayah	Jumlah Dokumen
1	Tiongkok	162
2	Italia	126
3	Amerika Serikat	126
4	Inggris	76
5	Jerman	59
6	Swedia	48
7	Prancis	30
8	Portugal	28
9	Yunani	27
10	Spanyol	27
11	India	26
12	Jepang	22
13	Korea Selatan	20
14	Kanada	19
15	Hong Kong	19
16	Denmark	18
17	Meksiko	16
18	Rumania	16
19	Swiss	16
20	Taiwan	16

Berdasarkan Tabel 4, Tiongkok merupakan negara dengan kontribusi publikasi tertinggi dengan total 162 dokumen. Italia dan Amerika Serikat berada pada posisi berikutnya dengan jumlah publikasi yang sama, yaitu masing-masing sebanyak 126 dokumen. Selanjutnya, Inggris, Jerman, dan Swedia juga menunjukkan kontribusi yang cukup signifikan dengan jumlah publikasi berturut-turut sebesar 76, 59, dan 48 dokumen.

Negara-negara lain seperti Prancis, Portugal, Yunani, dan Spanyol turut berkontribusi dalam jumlah yang relatif lebih rendah, namun tetap menunjukkan peran dalam pengembangan penelitian pada bidang ini. Di sisi lain, kehadiran negara-negara di kawasan Asia seperti India, Jepang, Korea Selatan, serta wilayah Hong Kong dan Taiwan dalam daftar ini memperlihatkan bahwa aktivitas penelitian tidak hanya terpusat pada kawasan tertentu, melainkan tersebar secara lintas wilayah.

Perlu diperhatikan bahwa tabel ini hanya menyajikan 20 negara atau wilayah dengan jumlah publikasi tertinggi, sehingga masih terdapat negara lain yang juga berkontribusi meskipun dengan jumlah publikasi yang lebih terbatas. Pola distribusi ini mengindikasikan bahwa penelitian terkait *collaborative robots* dalam industri manufaktur telah berkembang secara global, dengan dominasi pada negara-negara yang memiliki kapasitas riset dan pengembangan teknologi yang kuat. Selain itu, tingginya kontribusi dari negara-negara tersebut juga dapat dikaitkan dengan pesatnya adopsi teknologi otomasi dan robotika dalam sektor industri mereka.

5. Top 10 Institusi dengan Kontribusi Publikasi Tertinggi

Analisis terhadap afiliasi penulis dilakukan untuk mengidentifikasi institusi yang paling aktif dalam menghasilkan publikasi terkait topik penelitian yang dikaji. Data ini menunjukkan distribusi kontribusi berdasarkan institusi dari keseluruhan dokumen yang dianalisis, sebagaimana disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Top 10 Institusi dengan Kontribusi Publikasi Tertinggi

Rank	Nama Institusi	Jumlah Artikel
1	The Royal Institute of Technology KTH	30
2	Politecnico di Torino	25
3	The Hong Kong Polytechnic University	21
4	Wuhan University of Technology	18
5	Politecnico di Milano	15
6	University of Patras	15
7	Zhejiang University	14
8	Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia	14
9	Consiglio Nazionale delle Ricerche	12
10	Clemson University	12

Berdasarkan Tabel 5, The Royal Institute of Technology KTH menempati posisi pertama sebagai institusi dengan jumlah publikasi terbanyak, yaitu sebanyak 30 artikel, diikuti oleh Politecnico di Torino dan The Hong Kong Polytechnic University. Beberapa institusi lain juga menunjukkan kontribusi yang signifikan, meskipun dengan jumlah publikasi yang lebih rendah.

Temuan ini mengindikasikan bahwa kontribusi penelitian berasal dari berbagai institusi di berbagai negara, dengan dominasi yang kuat dari institusi pendidikan tinggi. Kondisi ini mencerminkan peran sentral universitas dan lembaga riset dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang *collaborative robots* di sektor manufaktur. Selain itu, tingginya kontribusi dari institusi akademik juga menunjukkan bahwa penelitian pada topik ini masih banyak didorong oleh kegiatan riset fundamental dan pengembangan teknologi yang kemudian berpotensi untuk diadopsi lebih lanjut oleh sektor industri.

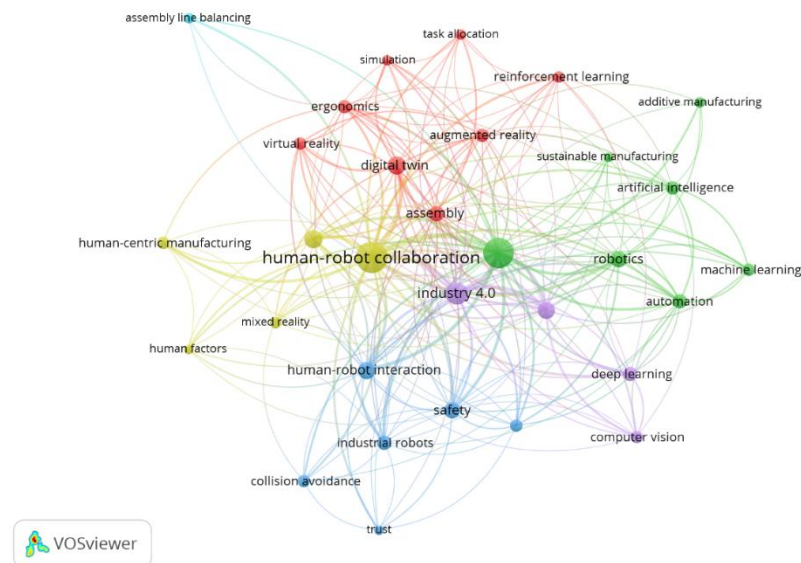
6. Analisis Kata Kunci

Analisis kata kunci dilakukan menggunakan pendekatan *co-occurrence* untuk mengidentifikasi hubungan antar topik penelitian dalam bidang *collaborative robots* di manufaktur. Metode ini dipilih karena mampu menggambarkan keterkaitan antar konsep berdasarkan kemunculan kata kunci secara bersamaan dalam publikasi, sehingga dapat mengungkap struktur pengetahuan dan fokus penelitian yang berkembang.

Data bibliografi yang diperoleh dari database Scopus diekspor dalam format CSV, kemudian dianalisis menggunakan VOSviewer. Dalam proses pemetaan, digunakan tipe analisis *co-occurrence* dengan unit analisis berupa *author keywords* dan metode perhitungan *full counting*. Batas minimum kemunculan kata kunci ditetapkan sebanyak 8 kali, sehingga dari total 2256 kata kunci yang teridentifikasi, sebanyak 39 kata kunci memenuhi ambang batas dan digunakan dalam analisis lebih lanjut.

Sebelum proses visualisasi, dilakukan pembersihan data menggunakan *thesaurus file* untuk menggabungkan kata kunci yang memiliki makna serupa, seperti variasi istilah dan bentuk jamak, sehingga meningkatkan akurasi hasil pemetaan. Hasil analisis kemudian divisualisasikan dalam bentuk jaringan menggunakan VOSviewer untuk menunjukkan

keterkaitan antar kata kunci serta pengelompokan topik penelitian ke dalam beberapa kluster (Gambar 3).



Gambar 3. Visualisasi Jaringan (*Network Visualization*) Kata Kunci

Berdasarkan hasil analisis *keywords co-occurrence* menggunakan VOSviewer, terbentuk enam kluster utama yang merepresentasikan fokus penelitian pada topik *collaborative robots (cobots)*. Masing-masing kluster menggambarkan pengelompokan tema berdasarkan keterkaitan antar kata kunci dalam jaringan visualisasi.

Kluster 1 berfokus pada integrasi sistem manufaktur berbasis teknologi digital, seperti *assembly*, *augmented reality*, *digital twin*, *ergonomics*, *reinforcement learning*, *simulation*, *task allocation*, dan *virtual reality*. Kluster ini menunjukkan kecenderungan penelitian yang mengarah pada optimalisasi proses perakitan dengan dukungan teknologi simulasi dan representasi digital.

Kluster 2 merepresentasikan perkembangan teknologi manufaktur cerdas yang mencakup *additive manufacturing*, *artificial intelligence*, *automation*, *collaborative robots*, *machine learning*, *robotics*, dan *sustainable manufacturing*. Hal ini menegaskan bahwa *cobots* menjadi bagian penting dalam ekosistem manufaktur modern yang terintegrasi dengan kecerdasan buatan dan otomatisasi.

Kluster 3 menitikberatkan pada aspek interaksi dan keselamatan dalam sistem robotik, yang meliputi *collision avoidance*, *flexible manufacturing systems*, *human-robot interaction*, *industrial robots*, *safety*, dan *trust*. Temuan ini menunjukkan bahwa isu keamanan dan kepercayaan merupakan faktor krusial dalam implementasi kolaborasi manusia dan robot.

Kluster 4 berfokus pada pendekatan berbasis manusia (*human-centered*), seperti *human factors*, *human-centric manufacturing*, *human-robot collaboration*, *industry 5.0*, dan *mixed reality*. Kluster ini mencerminkan pergeseran paradigma menuju sistem manufaktur yang lebih berorientasi pada manusia, sejalan dengan konsep *Industry 5.0*.

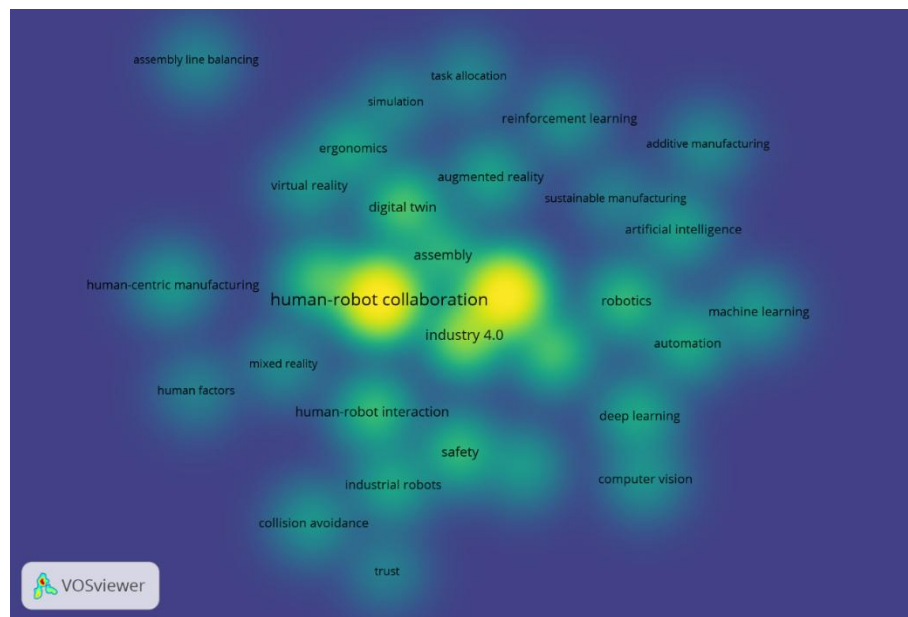
Kluster 5 mengarah pada pemanfaatan teknologi berbasis data dan analitik, yaitu *computer vision*, *deep learning*, *industry 4.0*, dan *smart manufacturing*, yang menunjukkan keterkaitan antara pengolahan data, analisis citra, dan transformasi digital dalam mendukung implementasi *cobots*.

human-robot collaboration dan *collaborative robots* mulai berkembang dan dikaitkan dengan aspek keselamatan dan kenyamanan kerja, seperti *safety* dan *ergonomics*. Selain itu, penelitian juga mulai menyoroti aspek operasional di lingkungan manufaktur, yang ditandai dengan munculnya topik seperti *assembly line balancing*. Hal ini mengindikasikan adanya perhatian terhadap optimalisasi implementasi robot kolaboratif dalam sistem produksi nyata.

Perkembangan terbaru ditunjukkan oleh node berwarna kuning terang yang merepresentasikan topik dengan publikasi yang lebih mutakhir. Tren ini mencakup integrasi teknologi berbasis kecerdasan buatan dan sistem siber-fisik, seperti *Industry 5.0*, *digital twin*, *mixed reality*, *computer vision*, dan *reinforcement learning*. Pola ini mengindikasikan bahwa penelitian *collaborative robots* berkembang menuju pendekatan yang lebih adaptif, terintegrasi, dan berorientasi pada manusia (*human-centric manufacturing*).

Secara keseluruhan, *overlay visualization* menunjukkan adanya evolusi penelitian dari fokus pada sistem robotika konvensional, menuju kolaborasi manusia-robot, hingga integrasi teknologi cerdas dalam konteks manufaktur modern.

Untuk melengkapi analisis sebelumnya, digunakan *density visualization* guna mengidentifikasi tingkat kepadatan penelitian pada setiap topik serta mengindikasikan potensi celah penelitian (*research gap*). Pada visualisasi ini, warna kuning terang menunjukkan area dengan kepadatan publikasi dan keterkaitan yang tinggi, sedangkan warna hijau hingga biru gelap merepresentasikan area dengan intensitas penelitian yang relatif lebih rendah (Gambar 5).



Gambar 5. Visualisasi Kepadatan (*Density Visualization*) Kata Kunci

Berdasarkan peta tersebut, area pusat yang ditandai dengan warna kuning terang didominasi oleh kata kunci *human-robot collaboration* dan *collaborative robots*. Tingginya kepadatan pada area ini menunjukkan bahwa kedua topik tersebut merupakan fokus utama dan telah banyak dikaji dalam literatur. Area di sekitarnya juga memperlihatkan kepadatan yang relatif tinggi, mencakup topik seperti *industry 4.0*, *digital twin*, *safety*, dan *ergonomics*. Hal ini mencerminkan bahwa penelitian saat ini banyak berfokus pada integrasi robot kolaboratif dalam lingkungan industri, terutama yang berkaitan dengan aspek keselamatan dan interaksi manusia.

Sebaliknya, area perifer yang ditunjukkan oleh warna hijau hingga biru gelap merepresentasikan topik dengan intensitas penelitian yang masih terbatas. Beberapa kata kunci seperti *mixed reality*, *reinforcement learning*, *trust*, *assembly line balancing*, serta *human-*

centric manufacturing berada pada zona ini, yang menunjukkan adanya peluang untuk pengembangan lebih lanjut.

Menariknya, sebagian topik dengan kepadatan rendah tersebut juga teridentifikasi sebagai tren yang relatif baru pada *overlay visualization*, seperti *human-centric manufacturing* dan teknologi berbasis kecerdasan buatan (seperti *deep learning*, *machine learning*, *computer vision*, dan *reinforcement learning*). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun belum banyak dieksplorasi, topik-topik tersebut memiliki potensi untuk menjadi arah penelitian di masa depan. Dengan demikian, area-area ini dapat dipertimbangkan sebagai peluang strategis untuk pengembangan penelitian lanjutan dalam bidang *collaborative robots*.

Hasil analisis *co-occurrence*, *overlay visualization*, dan *density visualization* menunjukkan adanya keterkaitan antara struktur topik, perkembangan temporal, serta tingkat kepadatan penelitian dalam bidang *collaborative robots*. Beberapa topik seperti *human-centric manufacturing*, *mixed reality*, *reinforcement learning*, serta teknologi berbasis kecerdasan buatan (antara lain *deep learning*, *machine learning*, dan *computer vision*) teridentifikasi sebagai tren yang relatif baru namun masih memiliki tingkat kepadatan penelitian yang rendah, sehingga berpotensi menjadi arah penelitian di masa depan. Selain itu, topik *assembly line balancing* yang relatif terpisah dari kluster lainnya juga menunjukkan bahwa integrasinya dengan *collaborative robots* masih terbatas, sehingga membuka peluang penelitian lebih lanjut dalam mengoptimalkan sistem lini produksi berbasis *cobots*.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis bibliometrik, penelitian mengenai *collaborative robots* (*cobots*) dalam industri manufaktur menunjukkan tren yang terus meningkat dari tahun ke tahun. Hal ini mengindikasikan tingginya urgensi dan minat global terhadap adopsi *cobots*. Distribusi publikasi juga menunjukkan kontribusi dari berbagai negara, institusi, dan penulis yang secara aktif berperan dalam pengembangan kajian terkait topik ini.

Lebih lanjut, analisis pemetaan menggunakan VOSviewer melalui *co-occurrence* mengidentifikasi enam kluster utama yang saling beririsan, mencakup integrasi teknologi digital, sistem manufaktur cerdas berbasis kecerdasan buatan, interaksi fisik dan keamanan (*safety & ergonomics*), pendekatan yang berpusat pada manusia, analitik data, hingga efisiensi lini perakitan (*assembly line balancing*). Analisis *overlay visualization* menunjukkan adanya evolusi riset dari fokus awal pada robotika konvensional menuju kolaborasi manusia-robot, hingga perkembangan terbaru yang mengarah pada integrasi teknologi cerdas seperti *digital twin*, *mixed reality*, dan *reinforcement learning*. Sementara itu, *density visualization* mengungkap bahwa meskipun topik seperti *human-robot collaboration* telah banyak diteliti, masih terdapat sejumlah topik dengan intensitas penelitian yang relatif rendah, seperti *human-centric manufacturing*, *trust* (tingkat kepercayaan pekerja terhadap robot), *mixed reality*, dan *assembly line balancing*.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa riset *collaborative robots* berkembang secara multidisiplin dan cenderung mengarah pada pendekatan yang lebih terintegrasi serta berorientasi pada manusia (*human-centric*), tidak lagi sekadar berfokus pada otomatisasi dan efisiensi mekanis. Studi bibliometrik ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai perkembangan riset serta menjadi referensi bagi peneliti dan praktisi dalam mengidentifikasi peluang atau celah penelitian ke depan, khususnya dalam integrasi teknologi cerdas, optimasi sistem produksi, serta penguatan kolaborasi manusia dan robot di lingkungan manufaktur modern.

E. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Arifin, T. R. D. Putra, and A. S. Firdaus, "Industri 5.0 dan Transformasi Digital Organisasi: Pendekatan Human-Centered," *J. Inov. dan Kaji. Multidisipliner Kontemporer*, vol. 01, no. 03, pp. 1200–1206, 2026.

-
- [2] W. Nugroho and L. A. Tambunan, "Transformasi Digital dan Dampaknya terhadap Kompetensi Sumber Daya Manusia di Era Industri 5.0," *J. Ilm. Glob. Educ.*, vol. 6, no. 3, pp. 1–12, 2025.
- [3] Suryadi and F. A. P. Nasution, "Revolusi Industri, Tren Pekerjaan Masa Depan, dan Posisi Indonesia," *J. Ketenagakerjaan*, vol. 18, no. 2, pp. 124–141, 2023, doi: 10.47198/naker.v18i2.237.
- [4] K. Handayani, "Strategi Adaptif untuk Mempertahankan Tenaga Kerja di Era Society 5.0 : Menghadapi Tantangan Cobot," *J. Penelit. Multidisiplin Bangsa*, vol. 1, no. 3, pp. 185–200, 2024.
- [5] C. Palanisamy, L. Perumal, and C. W. Chin, "A comprehensive review of collaborative robotics in manufacturing," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 15, no. 2, pp. 21970–21975, 2025.
- [6] Z. H. Siregar *et al.*, *Pengantar Teknik Mesin dan Industri*. Sumatera Barat: Yayasan Tri Edukasi Ilmiah, 2025.
- [7] A. Bangsawan, A. Farid, M. Wijayanto, N. M. Tsany, and S. Y. Wibowo, "Vision of Social-Based Robotics : Leveraging Computer Data and Social Media for Adaptive Industrial Robotics," *J. Ilm. Sist. Inf.*, vol. 4, no. 2, pp. 197–209, 2025.
- [8] A. al Alim, G. F. Yuyen, I. G. Evangelina, and K. Lie, "The Future Perspective of Collaborative Robotics in a 6G- Based Digital Economy," *J. Ilm. Sist. Inf.*, vol. 4, no. 1, pp. 186–196, 2025.
- [9] F. N. Zakiyyah, Y. Winoto, and R. Rohanda, "Pemetaan bibliometrik terhadap perkembangan penelitian arsitektur informasi pada Google Scholar menggunakan VOSviewer," *Informatio J. Libr. Inf. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 43–60, 2022.
- [10] T. Tupan, R. Rahayu, R. Rachmawati, and E. Rahayu, "Analisis bibliometrik perkembangan penelitian bidang ilmu instrumentasi," *BACA J. dokumentasi dan Inf.*, vol. 39, no. 2, pp. 135–149, 2018.
- [11] N. A. Azizah, "Perkembangan Teknologi Robotika Untuk Mendukung Otomasi Industri Dan Layanan Publik," *J. Pendidik. Sains dan Teknol. Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 38–47, 2026.
- [12] V. Villani, F. Pini, F. Leali, and C. Secchi, "Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications," *Mechatronics*, vol. 55, pp. 248–266, 2018, doi: 10.1016/j.mechatronics.2018.02.009.
- [13] Y. Lu *et al.*, "Outlook on human-centric manufacturing towards Industry 5.0," *J. Manuf. Syst.*, vol. 62, pp. 612–627, 2022, doi: 10.1016/j.jmsy.2022.02.001.
- [14] A. Hentout, M. Aouache, A. Maoudj, and I. Akli, "Human–robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008–2017," *Adv. Robot.*, vol. 33, no. 15–16, pp. 764–799, 2019, doi: 10.1080/01691864.2019.1636714.
- [15] A. M. Zanchettin, N. M. Ceriani, P. Rocco, H. Ding, and B. Matthias, "Safety in Human-Robot Collaborative Manufacturing Environments: Metrics and Control," *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 13, no. 2, pp. 882–893, 2016, doi: 10.1109/TASE.2015.2412256.
- [16] A. Raja Santhi and P. Muthuswamy, "Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies," *Int. J. Interact. Des. Manuf.*, vol. 17, no. 2, pp. 947–979, 2023, doi: 10.1007/s12008-023-01217-8.