

Tren Riset Kecerdasan Artifisial untuk Prediksi Cuaca Ekstrem: Analisis Bibliometrik Scopus 2015–2025

Loso Judijanto¹, Hanifah Nurul Muthmainah², Siti Agus Kartini³

IPOSS Jakarta, losojudijantobumn@gmail.com

Universitas Siber Muhammadiyah, hanifah20220200046@sibermu.ac.id

Universitas Tjut Nyak Dhien, sitiaguskartini11@gmail.com

Article Info

Article history:

Received Feb, 2026

Revised Feb, 2026

Accepted Feb, 2026

Kata Kunci:

Kecerdasan Artifisial; Prediksi Cuaca; Cuaca Ekstrem; Machine Learning; Analisis Bibliometrik

Keywords:

Artificial Intelligence; Weather Forecasting; Extreme Weather; Machine Learning; Bibliometric Analysis

ABSTRAK

Perkembangan teknologi kecerdasan artifisial telah memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan kemampuan prediksi cuaca, khususnya dalam menghadapi fenomena cuaca ekstrem yang semakin meningkat akibat perubahan iklim global. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan tren perkembangan penelitian mengenai pemanfaatan kecerdasan artifisial dalam prediksi cuaca ekstrem melalui pendekatan analisis bibliometrik. Data penelitian diperoleh dari basis data Scopus dengan rentang publikasi tahun 2015–2025, kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak VOSviewer untuk mengidentifikasi pola kolaborasi penulis, institusi, negara, serta hubungan antar kata kunci penelitian. Hasil analisis menunjukkan bahwa publikasi dalam bidang ini mengalami peningkatan yang signifikan dan didominasi oleh tema penelitian seperti artificial intelligence, weather forecasting, machine learning, dan extreme weather. Jaringan kolaborasi menunjukkan bahwa beberapa negara seperti Tiongkok, Amerika Serikat, dan India memiliki kontribusi yang dominan dalam pengembangan penelitian di bidang ini, dengan kolaborasi internasional yang cukup kuat. Selain itu, analisis kata kunci mengungkapkan adanya pergeseran fokus penelitian dari pengembangan algoritma kecerdasan artifisial menuju penerapan teknologi tersebut untuk memahami dampak perubahan iklim, memprediksi kejadian cuaca ekstrem, serta mendukung sistem mitigasi bencana dan manajemen risiko. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa kecerdasan artifisial memiliki peran strategis dalam pengembangan sistem prediksi cuaca modern yang lebih akurat dan adaptif terhadap dinamika lingkungan global.

ABSTRACT

The development of artificial intelligence technology has made a significant contribution to improving weather prediction capabilities, particularly in dealing with extreme weather phenomena that are increasing due to global climate change. This study aims to map trends in research on the use of artificial intelligence in extreme weather prediction through a bibliometric analysis approach. Research data was obtained from the Scopus database with publications ranging from 2015 to 2025, then analyzed using VOSviewer software to identify patterns of collaboration between authors, institutions, countries, and relationships between research keywords. The results of the analysis show that publications in this field have increased significantly and are dominated by research themes such as artificial intelligence, weather forecasting, machine learning, and extreme weather. The collaboration network shows that several countries, such as China, the United States, and India, have made significant contributions to research development in this field, with fairly strong international collaboration. In addition, keyword analysis reveals a shift in research focus from the

development of artificial intelligence algorithms to the application of this technology to understand the impact of climate change, predict extreme weather events, and support disaster mitigation and risk management systems. These findings show that artificial intelligence has a strategic role in the development of modern weather prediction systems that are more accurate and adaptive to global environmental dynamics.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

Name: Loso Judijanto
Institution: IPOSS Jakarta
Email: losojudijantobumn@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim global telah meningkatkan frekuensi dan intensitas kejadian cuaca ekstrem di berbagai belahan dunia. Fenomena seperti banjir bandang, gelombang panas, badai tropis, kekeringan berkepanjangan, serta hujan ekstrem menjadi ancaman nyata terhadap keberlanjutan lingkungan, stabilitas ekonomi, dan keselamatan manusia (Camps-Valls et al., 2025; Materia et al., 2024). Laporan lembaga internasional menunjukkan bahwa tren peningkatan suhu global berkorelasi dengan meningkatnya anomali cuaca yang sulit diprediksi menggunakan pendekatan konvensional berbasis model fisika semata. Di negara-negara berkembang, dampak cuaca ekstrem sering kali diperparah oleh keterbatasan sistem peringatan dini dan kapasitas mitigasi bencana. Oleh karena itu, peningkatan akurasi dan ketepatan waktu dalam prediksi cuaca ekstrem menjadi kebutuhan mendesak dalam kerangka pengurangan risiko bencana dan adaptasi perubahan iklim (Kim et al., 2020).

Secara tradisional, prediksi cuaca dilakukan menggunakan Numerical Weather Prediction (NWP) yang berbasis pada persamaan dinamika atmosfer dan proses fisik lainnya. Meskipun pendekatan ini telah berkembang pesat dengan dukungan komputasi berkinerja tinggi, model numerik masih menghadapi keterbatasan dalam menangkap kompleksitas nonlinier sistem atmosfer dan variabilitas spasial-temporal berskala kecil (Conti, 2024). Dalam konteks ini, Kecerdasan Artifisial (Artificial Intelligence/AI), khususnya machine learning dan deep learning, mulai mendapat perhatian sebagai pendekatan pelengkap maupun alternatif. Algoritma seperti Artificial Neural Networks (ANN), Random Forest, Support Vector Machine (SVM), serta arsitektur deep learning seperti Convolutional Neural Networks (CNN) dan Long Short-Term Memory (LSTM) menunjukkan kemampuan dalam mengenali pola kompleks dari data meteorologis berskala besar (Kosovic et al., 2020; Pandya, 2025).

Periode 2015–2025 merupakan fase percepatan transformasi digital dalam bidang sains atmosfer. Ketersediaan big data dari satelit, radar cuaca, sensor IoT, serta reanalisis iklim global telah mendorong integrasi teknik AI dalam sistem prediksi cuaca. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa model hibrida yang menggabungkan pendekatan fisik dan pembelajaran mesin mampu meningkatkan akurasi prediksi hujan ekstrem dan badai tropis dibandingkan model konvensional saja (Dewitte et al., 2021). Selain itu, perkembangan komputasi awan dan GPU mempercepat proses pelatihan model berbasis deep learning yang sebelumnya memerlukan waktu sangat lama. Dengan demikian, AI tidak lagi sekadar alat eksperimental, melainkan mulai diadopsi dalam sistem operasional oleh berbagai lembaga meteorologi dunia.

Seiring meningkatnya publikasi ilmiah terkait AI dan prediksi cuaca ekstrem, diperlukan pemetaan sistematis untuk memahami arah perkembangan riset tersebut. Analisis bibliometrik menjadi salah satu pendekatan kuantitatif yang efektif untuk mengevaluasi tren publikasi,

kolaborasi peneliti, jaringan sitasi, kata kunci dominan, serta distribusi geografis penelitian dalam suatu bidang ilmu (Donthu et al., 2021). Basis data Scopus dipilih karena memiliki cakupan jurnal internasional bereputasi yang luas dan menyediakan metadata yang komprehensif untuk analisis kuantitatif. Melalui analisis bibliometrik, dapat diidentifikasi tema-tema utama, evolusi metodologi, serta kesenjangan penelitian yang masih terbuka dalam pengembangan AI untuk prediksi cuaca ekstrem.

Meskipun sejumlah studi telah membahas penerapan AI dalam meteorologi, kajian yang secara khusus memetakan tren riset global mengenai AI untuk prediksi cuaca ekstrem dalam rentang satu dekade terakhir masih terbatas. Sebagian penelitian berfokus pada performa model tertentu atau studi kasus regional, namun belum banyak yang menganalisis dinamika perkembangan keilmuan secara menyeluruh, termasuk pertumbuhan publikasi, institusi dan negara paling produktif, serta pola kolaborasi internasional. Padahal, pemahaman terhadap lanskap penelitian sangat penting untuk merumuskan strategi riset ke depan, memperkuat kolaborasi lintas disiplin, serta mengidentifikasi peluang inovasi. Oleh karena itu, kajian bibliometrik terhadap publikasi Scopus periode 2015–2025 menjadi relevan dan strategis untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai perkembangan riset AI dalam prediksi cuaca ekstrem.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah belum tersedianya pemetaan komprehensif mengenai tren, pola perkembangan, serta struktur intelektual riset Kecerdasan Artifisial untuk prediksi cuaca ekstrem dalam satu dekade terakhir pada basis data Scopus. Pertumbuhan publikasi yang pesat belum diikuti dengan analisis mendalam terkait distribusi topik, metode AI yang dominan, jaringan kolaborasi peneliti dan institusi, serta tema-tema yang berpotensi menjadi arah riset masa depan. Tanpa pemetaan bibliometrik yang sistematis, sulit untuk mengidentifikasi posisi perkembangan keilmuan, kesenjangan penelitian, serta peluang inovasi yang dapat memperkuat kontribusi ilmiah dan praktis dalam pengembangan sistem prediksi cuaca ekstrem berbasis AI. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren riset Kecerdasan Artifisial dalam prediksi cuaca ekstrem berdasarkan publikasi yang terindeks Scopus selama periode 2015–2025 menggunakan pendekatan bibliometrik.

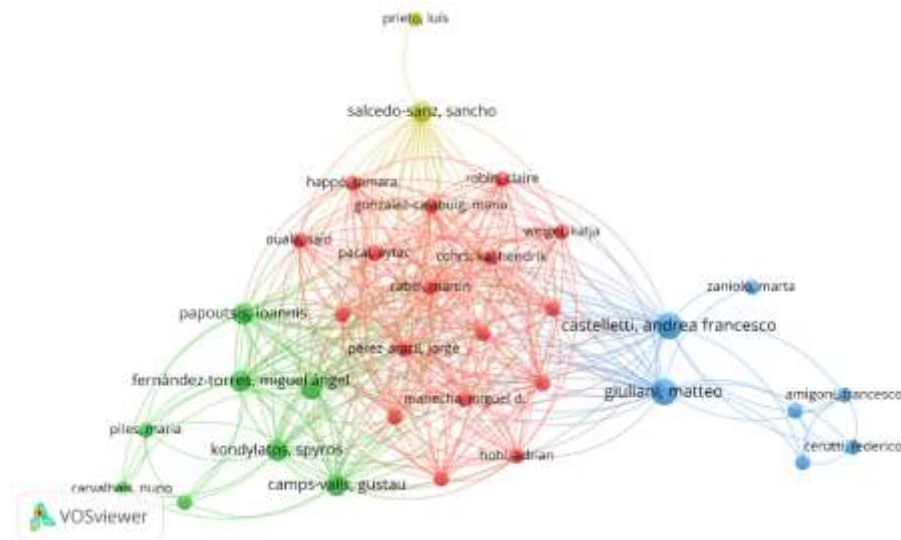
2. METHOD

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis bibliometrik untuk memetakan tren riset Kecerdasan Artifisial dalam prediksi cuaca ekstrem pada periode 2015–2025. Sumber data diperoleh dari basis data Scopus karena cakupan jurnal internasionalnya yang luas serta kelengkapan metadata yang mendukung analisis bibliometrik. Proses pengumpulan data dilakukan dengan merumuskan strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci seperti “artificial intelligence”, “machine learning”, “deep learning”, “extreme weather”, “extreme rainfall”, “heatwave”, “storm prediction”, dan istilah terkait lainnya. Pencarian dibatasi pada artikel jurnal, prosiding konferensi, dan review yang dipublikasikan dalam rentang waktu 2015–2025. Selanjutnya, dilakukan proses penyaringan (screening) untuk menghapus dokumen duplikat serta publikasi yang tidak relevan berdasarkan judul, abstrak, dan kata kunci.

Data bibliografis yang telah terkumpul kemudian diekspor dalam format CSV dan BibTeX untuk dianalisis menggunakan perangkat lunak VOSviewer. Analisis yang dilakukan meliputi analisis produktivitas tahunan untuk mengidentifikasi tren pertumbuhan publikasi, analisis kontribusi penulis, institusi, dan negara, serta analisis sitasi untuk menentukan pengaruh ilmiah suatu dokumen. Selain itu, dilakukan analisis co-authorship untuk memetakan pola kolaborasi, analisis co-citation untuk mengidentifikasi struktur intelektual bidang penelitian, serta analisis co-occurrence kata kunci untuk mengungkap tema-tema dominan dan evolusi topik riset. Visualisasi jaringan digunakan untuk memperjelas hubungan antar elemen dalam lanskap penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

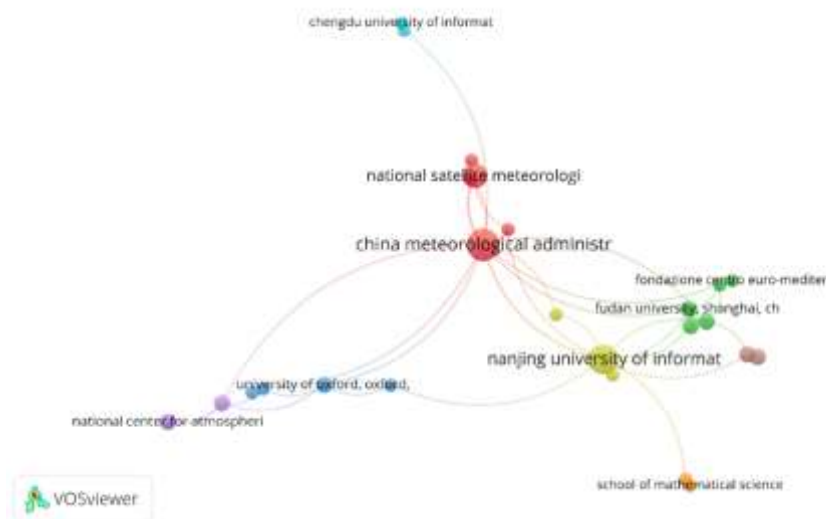
Analisis Ko-Kepengulisan



Gambar 1. Visualisasi Penulis

Sumber: Data Diolah

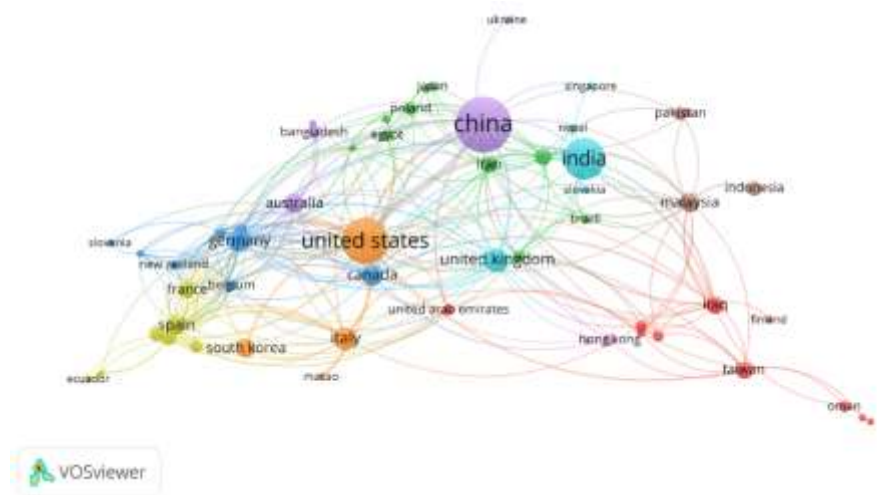
Gambar 1 menunjukkan struktur kolaborasi peneliti dalam bidang kecerdasan artifisial untuk prediksi cuaca ekstrem selama periode 2015–2025. Jaringan ini terbagi ke dalam beberapa kluster yang ditandai dengan warna berbeda, yang merepresentasikan kelompok peneliti yang sering berkolaborasi dalam publikasi ilmiah. Kluster merah tampak sebagai pusat jaringan dengan kepadatan hubungan yang tinggi, mengindikasikan adanya kelompok penelitian utama yang memiliki tingkat kolaborasi intensif antarpengulisan seperti Martin Rabel, Kai Hendrik Cohrs, dan Katja Weigel. Kluster hijau menunjukkan kelompok kolaborasi lain yang cukup aktif dengan peneliti seperti Miguel Ángel Fernández-Torres, Spyros Kondylatos, dan Gustav Camps-Valls yang memiliki koneksi kuat dalam jaringan tersebut. Sementara itu, kluster biru memperlihatkan jaringan kolaborasi yang lebih terfokus dengan tokoh seperti Andrea Francesco Castelletti dan Matteo Giuliani yang berperan sebagai penghubung penting dalam penelitian terkait pemodelan dan prediksi berbasis data. Selain itu, terdapat kluster kecil berwarna kuning yang menunjukkan kolaborasi yang lebih terbatas namun tetap terhubung dengan jaringan utama melalui beberapa penulis kunci.



Gambar 2. Visualisasi Institusi

Sumber: Data Diolah

Gambar 2 menunjukkan pola kolaborasi antar lembaga penelitian dalam studi kecerdasan artifisial untuk prediksi cuaca ekstrem pada periode 2015–2025. Jaringan ini memperlihatkan bahwa China Meteorological Administration menjadi salah satu pusat kolaborasi utama yang memiliki hubungan kuat dengan institusi lain seperti National Satellite Meteorological Center serta beberapa universitas penelitian. Selain itu, Nanjing University of Information Science and Technology juga tampak sebagai aktor penting yang menghubungkan berbagai institusi akademik dan penelitian, termasuk Fudan University dan lembaga penelitian internasional seperti Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici. Di sisi lain, kolaborasi global juga terlihat melalui keterhubungan dengan institusi seperti University of Oxford dan National Center for Atmospheric Research, yang menunjukkan adanya jaringan penelitian lintas negara dalam pengembangan model prediksi cuaca ekstrem berbasis kecerdasan artifisial. Kehadiran beberapa kluster dengan warna berbeda menandakan kelompok kolaborasi institusional yang berbeda, namun tetap saling terhubung melalui institusi kunci yang berperan sebagai penghubung dalam jaringan penelitian global.



Gambar 3. Visualisasi Negara
Sumber: Data Diolah

Gambar 3 menunjukkan pola kolaborasi internasional dalam penelitian kecerdasan artifisial untuk prediksi cuaca ekstrem pada periode 2015–2025. Peta ini memperlihatkan bahwa China, United States, dan India merupakan negara yang memiliki peran paling dominan dalam jaringan penelitian global, ditunjukkan oleh ukuran node yang lebih besar serta banyaknya hubungan dengan negara lain. China tampak menjadi pusat kolaborasi utama yang terhubung dengan berbagai negara di Asia, Eropa, dan Timur Tengah, sementara United States berperan sebagai penghubung penting dengan negara-negara Barat seperti Germany, United Kingdom, Canada, dan Australia. India juga menunjukkan posisi strategis dengan jaringan kolaborasi yang luas terutama dengan negara-negara Asia seperti Malaysia, Pakistan, dan Iran. Selain itu, beberapa negara lain seperti Italy, Germany, dan United Kingdom juga berperan dalam memperkuat jaringan penelitian melalui kolaborasi lintas wilayah. Keberadaan beberapa kluster berwarna berbeda mengindikasikan kelompok kolaborasi regional yang berbeda namun tetap terhubung dalam jaringan global, menunjukkan bahwa penelitian mengenai penerapan kecerdasan artifisial dalam prediksi cuaca ekstrem berkembang melalui kerja sama internasional yang intensif antara negara maju dan negara berkembang.

Analisis Kutipan

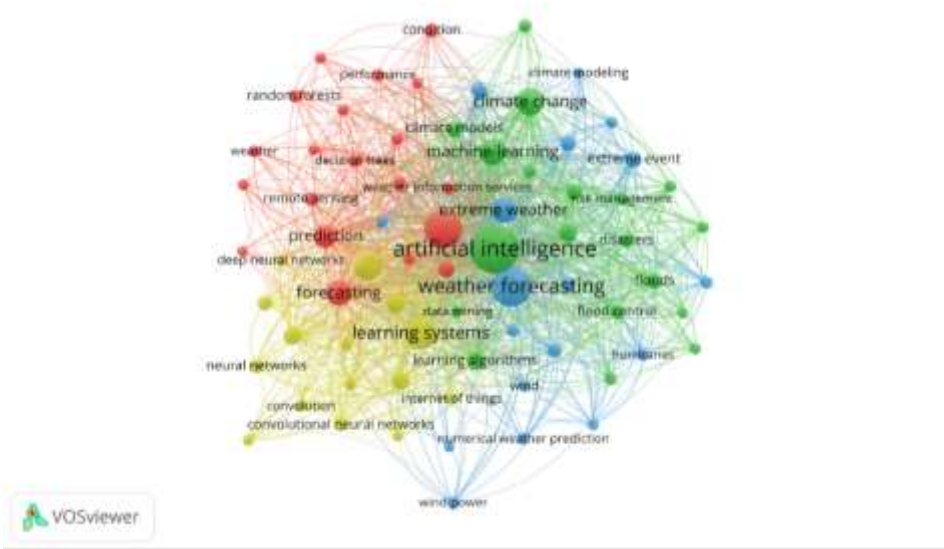
Tabel 1. Literatur dengan Kutipan Terbanyak

Citations	Authors and Year	Title
1,356	(Mosavi et al., 2018)	Flood prediction using machine learning models: Literature review

1,142	(Bi et al., 2023)	Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks
200	(Chen et al., 2020)	Machine learning in tropical cyclone forecast modeling: A review
163	(Kleine Deters et al., 2017)	Modeling PM2.5 Urban Pollution Using Machine Learning and Selected Meteorological Parameters
158	(Xu et al., 2018)	Evaluation of machine learning techniques with multiple remote sensing datasets in estimating monthly concentrations of ground-level PM2.5
128	(Dharmarathne et al., 2024)	Adapting cities to the surge: A comprehensive review of climate-induced urban flooding
128	(Danandeh Mehr et al., 2023)	A novel intelligent deep learning predictive model for meteorological drought forecasting
108	(Lima et al., 2016)	Forecasting daily streamflow using online sequential extreme learning machines
101	(Kondylatos et al., 2022)	Wildfire Danger Prediction and Understanding With Deep Learning
95	(Hashemi et al., 2016)	An efficient artificial intelligence model for prediction of tropical storm surge

Sumber: Scopus

Visualisasi Kata Kunci



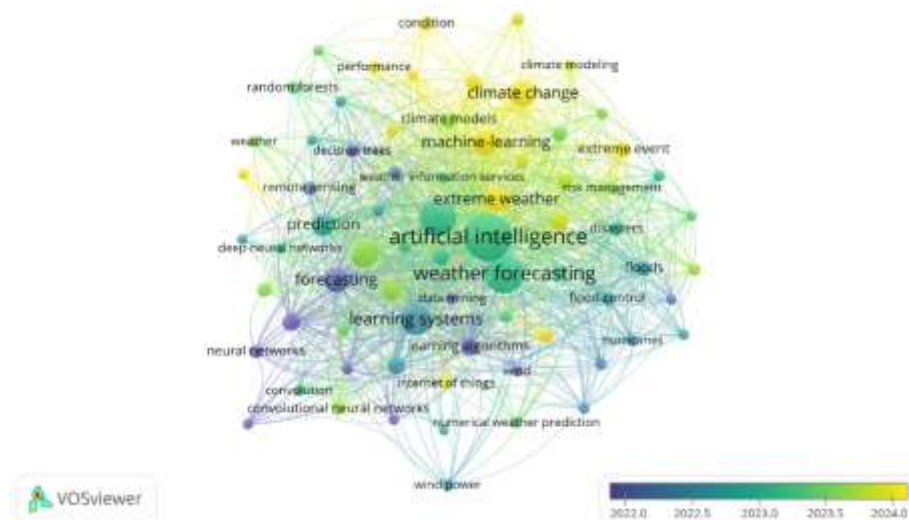
Gambar 4. Visualisasi Jaringan
Sumber: Data Diolah

Gambar 4 menggambarkan struktur tema penelitian dalam bidang kecerdasan artifisial untuk prediksi cuaca ekstrem selama periode 2015–2025. Peta ini menunjukkan bahwa artificial intelligence, weather forecasting, dan machine learning menjadi kata kunci yang paling dominan dan berada di pusat jaringan. Ukuran node yang besar pada kata kunci tersebut menandakan frekuensi kemunculan yang tinggi dalam publikasi ilmiah, sekaligus menunjukkan bahwa teknologi kecerdasan artifisial menjadi pendekatan utama dalam pengembangan model prediksi cuaca modern. Hubungan yang rapat antar kata kunci juga menunjukkan bahwa penelitian dalam bidang ini bersifat multidisipliner, menggabungkan ilmu meteorologi, ilmu komputer, dan analisis data. Klaster berwarna merah menyoroti fokus penelitian pada teknik pemodelan berbasis algoritma machine learning, seperti random forests, decision trees, dan deep neural networks. Kata kunci seperti prediction, weather, dan remote sensing menunjukkan bahwa metode kecerdasan artifisial banyak digunakan untuk meningkatkan akurasi prediksi cuaca melalui pemanfaatan data observasi dan citra satelit. Klaster ini menekankan pentingnya pendekatan komputasi cerdas dalam

menganalisis pola atmosfer yang kompleks serta dalam meningkatkan kemampuan sistem prediksi cuaca berbasis data.

Klaster berwarna hijau menunjukkan keterkaitan antara kecerdasan artifisial dengan isu perubahan iklim dan manajemen risiko bencana. Kata kunci seperti *climate change*, *extreme event*, *floods*, *disasters*, dan *risk management* menunjukkan bahwa penelitian tidak hanya berfokus pada aspek teknis prediksi cuaca, tetapi juga pada pemanfaatan teknologi AI untuk mitigasi dampak bencana hidrometeorologi. Hal ini mencerminkan meningkatnya perhatian global terhadap penggunaan teknologi cerdas dalam mendukung sistem peringatan dini dan pengelolaan risiko bencana yang lebih efektif. Klaster berwarna biru menyoroti integrasi kecerdasan artifisial dengan model meteorologi numerik dan analisis data atmosfer. Kata kunci seperti *numerical weather prediction*, *wind*, dan *flood control* menunjukkan bahwa penelitian berusaha mengombinasikan model meteorologi tradisional dengan metode pembelajaran mesin untuk meningkatkan ketepatan prediksi. Pendekatan ini menjadi penting karena model numerik konvensional sering menghadapi keterbatasan dalam memproses data besar dan kompleks yang dihasilkan oleh sistem observasi atmosfer modern.

Klaster berwarna kuning menunjukkan perkembangan penelitian terkait algoritma pembelajaran dan teknologi komputasi cerdas seperti neural networks, convolutional neural networks, learning systems, dan internet of things. Kehadiran kata kunci tersebut menunjukkan bahwa penelitian dalam bidang ini semakin memanfaatkan teknologi komputasi modern dan sistem sensor yang terhubung untuk menghasilkan prediksi cuaca yang lebih akurat dan real-time.



Gambar 5. Visualisasi Overlay

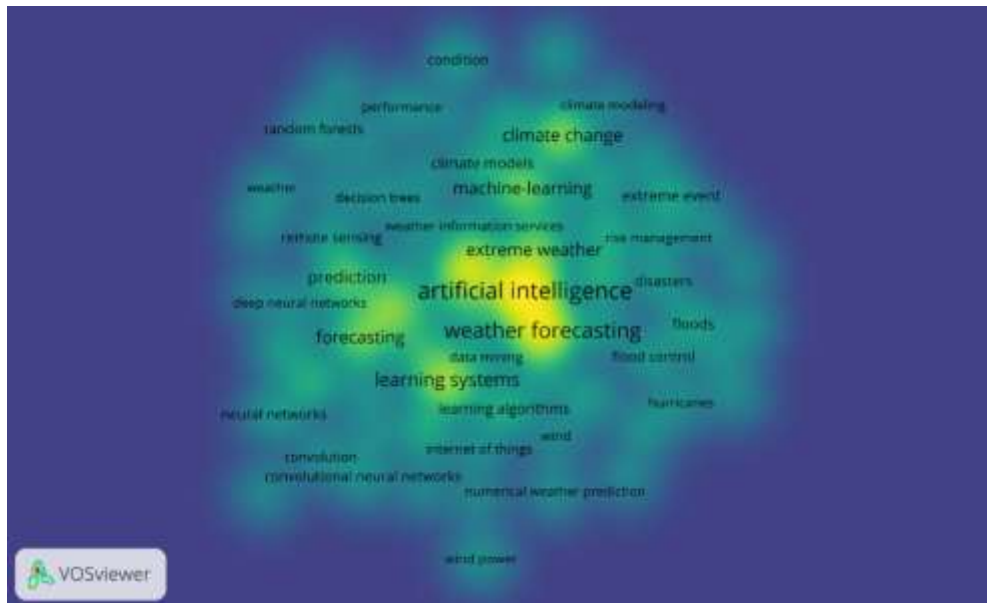
Sumber: Data Diolah

Gambar 5 menunjukkan perkembangan temporal topik penelitian terkait penggunaan kecerdasan artifisial dalam prediksi cuaca ekstrem selama periode 2015–2025. Warna pada peta menunjukkan rata-rata tahun kemunculan kata kunci dalam publikasi ilmiah, di mana warna biru merepresentasikan topik yang relatif lebih awal diteliti, sedangkan warna kuning menunjukkan topik yang lebih baru dan sedang berkembang. Kata kunci utama seperti *artificial intelligence*, *weather forecasting*, *machine learning*, dan *learning systems* berada di pusat jaringan dengan ukuran node yang besar, menandakan bahwa topik-topik tersebut menjadi fondasi utama dalam perkembangan penelitian pada bidang ini.

Pada fase awal penelitian, topik yang lebih dominan ditunjukkan oleh warna biru hingga hijau, seperti neural networks, convolutional neural networks, numerical weather prediction, dan internet of things. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian pada tahap awal banyak berfokus pada pengembangan metode komputasi dan integrasi teknologi sensor untuk mendukung sistem prediksi cuaca berbasis data. Pendekatan tersebut mencerminkan upaya awal dalam memanfaatkan teknik

pembelajaran mesin dan komputasi cerdas untuk meningkatkan akurasi model prediksi cuaca yang sebelumnya sangat bergantung pada model meteorologi numerik konvensional.

Sementara itu, perkembangan penelitian yang lebih baru ditunjukkan oleh kata kunci berwarna kuning seperti *climate change*, *climate modeling*, *extreme weather*, dan *extreme events*. Kemunculan topik-topik ini menunjukkan adanya pergeseran fokus penelitian dari pengembangan algoritma semata menuju pemanfaatan kecerdasan artifisial untuk memahami dampak perubahan iklim dan meningkatkan kemampuan prediksi terhadap kejadian cuaca ekstrem. Tren ini mengindikasikan bahwa penelitian di masa depan kemungkinan akan semakin menekankan integrasi antara kecerdasan artifisial, analisis perubahan iklim, serta sistem mitigasi risiko bencana untuk menghadapi tantangan lingkungan global yang semakin kompleks.



Gambar 6. Visualisasi Densitas

Sumber: Data Diolah

Gambar 6 menunjukkan tingkat kepadatan kemunculan dan keterkaitan kata kunci dalam penelitian mengenai kecerdasan artifisial untuk prediksi cuaca ekstrem. Area dengan warna kuning terang menandakan kata kunci yang paling sering muncul dan memiliki hubungan kuat dengan kata kunci lainnya dalam jaringan penelitian. Dalam peta ini, kata kunci seperti *artificial intelligence*, *weather forecasting*, *learning systems*, dan *forecasting* berada pada area dengan kepadatan tertinggi, yang menunjukkan bahwa topik-topik tersebut merupakan fokus utama dalam perkembangan literatur ilmiah pada bidang ini. Kepadatan yang tinggi di sekitar kata kunci tersebut juga menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian mengintegrasikan metode kecerdasan artifisial dengan sistem prediksi cuaca untuk meningkatkan akurasi analisis atmosfer dan prediksi kejadian cuaca ekstrem.

Di sekitar area inti tersebut terdapat kata kunci lain dengan kepadatan menengah seperti *machine learning*, *climate change*, *extreme weather*, *prediction*, dan *risk management*, yang menunjukkan keterkaitan antara penelitian kecerdasan artifisial dengan isu perubahan iklim serta manajemen risiko bencana hidrometeorologi. Sementara itu, area dengan warna yang lebih redup seperti *neural networks*, *convolutional neural networks*, *numerical weather prediction*, dan *internet of things* menunjukkan topik yang tetap relevan namun memiliki frekuensi kemunculan yang lebih rendah.

Pembahasan

Hasil analisis bibliometrik dalam penelitian ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai perkembangan riset terkait pemanfaatan kecerdasan artifisial untuk prediksi cuaca

ekstrem selama periode 2015–2025. Peningkatan jumlah publikasi serta kepadatan jaringan dalam berbagai visualisasi bibliometrik menunjukkan bahwa topik ini berkembang pesat dalam bidang meteorologi, ilmu iklim, dan ilmu komputer. Integrasi kecerdasan artifisial dalam sistem prediksi cuaca mencerminkan kebutuhan yang semakin besar terhadap metode analisis berbasis data yang mampu memproses data atmosfer dalam jumlah besar dan kompleks. Seiring dengan meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem akibat perubahan iklim global, para peneliti mulai memanfaatkan metode pembelajaran mesin untuk meningkatkan akurasi prediksi dibandingkan pendekatan konvensional yang bergantung pada model numerik meteorologi.

Analisis jaringan kolaborasi penulis menunjukkan bahwa penelitian di bidang ini berkembang melalui kerja sama yang kuat antarpeneliti dari berbagai institusi dan negara. Beberapa penulis muncul sebagai simpul utama dalam jaringan kolaborasi, yang menunjukkan bahwa mereka memiliki kontribusi signifikan dalam perkembangan literatur ilmiah mengenai kecerdasan artifisial untuk prediksi cuaca ekstrem. Adanya beberapa klaster kolaborasi dalam jaringan tersebut juga menunjukkan bahwa komunitas ilmiah dalam bidang ini terbagi ke dalam kelompok-kelompok penelitian yang fokus pada pendekatan metodologis atau aplikasi yang berbeda. Kolaborasi lintas disiplin menjadi karakteristik utama dalam bidang ini karena penelitian menggabungkan keahlian dari meteorologi, ilmu komputer, penginderaan jauh, serta analisis data.

Pola kolaborasi institusi juga memperlihatkan bahwa lembaga penelitian dan universitas memiliki peran penting dalam mendorong inovasi di bidang ini. Visualisasi jaringan menunjukkan bahwa beberapa lembaga meteorologi nasional serta universitas riset terkemuka menjadi pusat kolaborasi dalam pengembangan penelitian terkait kecerdasan artifisial untuk prediksi cuaca ekstrem. Institusi di negara-negara seperti Tiongkok, Amerika Serikat, dan beberapa negara Eropa tampak memiliki kontribusi yang dominan dalam jaringan penelitian global. Kolaborasi antara universitas dan lembaga meteorologi menunjukkan bahwa penelitian yang dilakukan tidak hanya bersifat akademik, tetapi juga diarahkan pada pengembangan sistem prediksi operasional yang dapat digunakan dalam mitigasi bencana dan pengelolaan risiko iklim.

Analisis kolaborasi antarnegara menunjukkan bahwa penelitian mengenai kecerdasan artifisial untuk prediksi cuaca ekstrem merupakan bidang yang sangat bersifat global. Negara seperti Tiongkok, Amerika Serikat, dan India menempati posisi sentral dalam jaringan kolaborasi internasional, yang menunjukkan kontribusi signifikan mereka dalam publikasi ilmiah serta kerja sama penelitian. Selain itu, negara-negara lain seperti Inggris, Jerman, Italia, dan Australia juga memiliki peran penting dalam memperkuat jaringan penelitian global. Keterlibatan negara berkembang dalam jaringan ini menunjukkan bahwa isu prediksi cuaca ekstrem menjadi perhatian bersama karena dampaknya yang signifikan terhadap sektor pertanian, ekonomi, dan keselamatan masyarakat.

Analisis kemunculan kata kunci memberikan gambaran mengenai struktur tematik penelitian dalam bidang ini. Kata kunci utama seperti *artificial intelligence*, *weather forecasting*, *machine learning*, dan *learning systems* menjadi konsep inti yang mendominasi literatur penelitian. Kata kunci tersebut memiliki hubungan yang erat dengan topik lain seperti *prediction*, *remote sensing*, *data mining*, serta *climate models*, yang menunjukkan bahwa penelitian berfokus pada pengembangan sistem prediksi cuaca berbasis data. Hubungan yang kuat antara kecerdasan artifisial dan topik perubahan iklim seperti *climate change*, *extreme weather*, *floods*, dan *disasters* juga menunjukkan bahwa teknologi AI semakin digunakan untuk memahami serta memitigasi dampak fenomena cuaca ekstrem.

Visualisasi overlay juga menunjukkan evolusi topik penelitian dari waktu ke waktu. Pada tahap awal perkembangan penelitian, fokus utama berada pada pengembangan metode komputasi seperti *neural networks*, *convolutional neural networks*, dan integrasi dengan *numerical weather prediction*. Penelitian pada tahap ini berfokus pada pengembangan algoritma dan teknik analisis data untuk meningkatkan kemampuan sistem prediksi cuaca. Namun dalam beberapa tahun terakhir, perhatian penelitian mulai bergeser ke arah isu yang lebih luas seperti *climate change*, *extreme events*, dan *risk management*, yang menunjukkan bahwa kecerdasan artifisial semakin

dimanfaatkan untuk mendukung analisis dampak perubahan iklim serta sistem peringatan dini bencana.

Selain itu, analisis kepadatan kata kunci menunjukkan bahwa topik terkait kecerdasan artifisial dan prediksi cuaca menjadi pusat perhatian dalam literatur ilmiah. Konsentrasi kata kunci yang tinggi pada konsep seperti artificial intelligence, weather forecasting, dan learning systems menunjukkan bahwa penelitian di bidang ini telah memiliki fokus konseptual yang kuat. Namun demikian, terdapat beberapa topik yang masih berkembang dengan kepadatan yang lebih rendah seperti integrasi Internet of Things, penggunaan model deep learning yang lebih kompleks, serta pemanfaatan data sensor atmosfer secara real-time. Hal ini menunjukkan adanya peluang penelitian baru yang dapat dikembangkan di masa depan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan perkembangan riset global mengenai pemanfaatan kecerdasan artifisial dalam prediksi cuaca ekstrem melalui analisis bibliometrik terhadap publikasi yang terindeks Scopus pada periode 2015–2025. Hasil analisis menunjukkan bahwa penelitian dalam bidang ini mengalami perkembangan yang signifikan dan didominasi oleh integrasi metode artificial intelligence, machine learning, dan weather forecasting dalam analisis fenomena cuaca ekstrem. Jaringan kolaborasi penulis, institusi, dan negara memperlihatkan bahwa penelitian berkembang melalui kerja sama internasional yang kuat, dengan kontribusi besar dari negara-negara seperti Tiongkok, Amerika Serikat, dan India. Analisis kata kunci juga mengungkapkan bahwa fokus penelitian tidak hanya pada pengembangan algoritma kecerdasan artifisial, tetapi juga pada penerapannya dalam memahami dampak climate change, meningkatkan akurasi prediksi cuaca, serta mendukung sistem mitigasi bencana. Secara keseluruhan, studi ini menegaskan bahwa kecerdasan artifisial memainkan peran yang semakin penting dalam pengembangan sistem prediksi cuaca modern, serta memiliki potensi besar untuk mendukung pengelolaan risiko bencana dan adaptasi terhadap perubahan iklim di masa depan.

REFERENSI

- Bi, K., Xie, L., Zhang, H., Chen, X., Gu, X., & Tian, Q. (2023). Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks. *Nature*, 619(7970), 533–538.
- Camps-Valls, G., Fernández-Torres, M.-Á., Cohrs, K.-H., Höhl, A., Castelletti, A., Pacal, A., Robin, C., Martinuzzi, F., Papoutsis, I., & Prapas, I. (2025). Artificial intelligence for modeling and understanding extreme weather and climate events. *Nature Communications*, 16(1), 1919.
- Chen, R., Zhang, W., & Wang, X. (2020). Machine learning in tropical cyclone forecast modeling: A review. *Atmosphere*, 11(7), 676.
- Conti, S. (2024). Artificial intelligence for weather forecasting. *Nature Reviews Electrical Engineering*, 1(1), 8.
- Danandeh Mehr, A., Rikhtehgar Ghiasi, A., Yaseen, Z. M., Sorman, A. U., & Abualigah, L. (2023). A novel intelligent deep learning predictive model for meteorological drought forecasting. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(8), 10441–10455.
- Dewitte, S., Cornelis, J. P., Müller, R., & Munteanu, A. (2021). Artificial intelligence revolutionises weather forecast, climate monitoring and decadal prediction. *Remote Sensing*, 13(16), 3209.
- Dharmarathne, G., Waduge, A. O., Bogahawaththa, M., Rathnayake, U., & Meddage, D. P. P. (2024). Adapting cities to the surge: A comprehensive review of climate-induced urban flooding. *Results in Engineering*, 22, 102123.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296.
- Hashemi, M. R., Spaulding, M. L., Shaw, A., Farhadi, H., & Lewis, M. (2016). An efficient artificial intelligence model for prediction of tropical storm surge. *Natural Hazards*, 82(1), 471–491.
- Kim, N., Na, S.-I., Park, C.-W., Huh, M., Oh, J., Ha, K.-J., Cho, J., & Lee, Y.-W. (2020). An artificial intelligence approach to prediction of corn yields under extreme weather conditions using satellite and meteorological data. *Applied Sciences*, 10(11), 3785.
- Kleine Deters, J., Zalakeviciute, R., Gonzalez, M., & Rybarczyk, Y. (2017). Modeling PM_{2.5} urban pollution using machine learning and selected meteorological parameters. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2017(1), 5106045.

- Kondylatos, S., Prapas, I., Ronco, M., Papoutsis, I., Camps-Valls, G., Piles, M., Fernández-Torres, M., & Carvalhais, N. (2022). Wildfire danger prediction and understanding with deep learning. *Geophysical Research Letters*, 49(17), e2022GL099368.
- Kosovic, B., Haupt, S. E., Adriaansen, D., Alessandrini, S., Wiener, G., Delle Monache, L., Liu, Y., Linden, S., Jensen, T., & Cheng, W. (2020). A comprehensive wind power forecasting system integrating artificial intelligence and numerical weather prediction. *Energies*, 13(6), 1372.
- Lima, A. R., Cannon, A. J., & Hsieh, W. W. (2016). Forecasting daily streamflow using online sequential extreme learning machines. *Journal of Hydrology*, 537, 431–443.
- Materia, S., García, L. P., van Straaten, C., O, S., Mamalakis, A., Cavicchia, L., Coumou, D., de Luca, P., Kretschmer, M., & Donat, M. (2024). Artificial intelligence for climate prediction of extremes: State of the art, challenges, and future perspectives. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 15(6), e914.
- Mosavi, A., Ozturk, P., & Chau, K. (2018). Flood prediction using machine learning models: Literature review. *Water*, 10(11), 1536.
- Pandya, K. A. (2025). AI in Climate Prediction: Using Machine Learning to Model Extreme Weather Events. *IJSAT-International Journal on Science and Technology*, 16(4).
- Xu, Y., Ho, H. C., Wong, M. S., Deng, C., Shi, Y., Chan, T.-C., & Knudby, A. (2018). Evaluation of machine learning techniques with multiple remote sensing datasets in estimating monthly concentrations of ground-level PM_{2.5}. *Environmental Pollution*, 242, 1417–1426.