



Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi

Vol: 14 No 02 2023

E-ISSN: 2477-3255

Diterima Redaksi: 21-10-2022 | Revisi: 02-11-2023 | Diterbitkan: 30-11-2023

Bibliometric Study : Rainfall Classification - Prediction using Machine Learning Methods

Ozzy Secio Riza¹ Ari Nuryadi²¹Program Studi Sistem Informasi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Imam Bonjol Padang²Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Meteorologi Minangkabau Padang Pariaman¹Sungai Bangek, Kel. Balai Gadang, Kec. Koto Tengah, Kota Padang, Sumatera Barat 25174²Jl. Akses Bandara, Katapiang, Kec. Batang Anai, Kabupaten Padang Pariaman, Sumatera Barat 25586e-mail: ozzysecioriza@uinib.ac.id, arinuryadi24@gmail.com

Abstract

This Research aims to review the machine learning methods used for classifying or predicting rainfall, using various features from existing data. The study used a bibliometric approach to search for metadata related to rainfall classification and prediction studies using machine learning keywords in Scopus journals. There found 94 metadata articles stored in a Comma Separated Values (CSV) file. The data in this article used published articles from 2014 to 2023 with relevant topics. The study provides information on the latest machine learning methods used for classifying or predicting rainfall. The findings of the study include an increase in published articles by 221.43% from 2018 to 2022. The article titled "An extensive evaluation of seven machine learning methods for rainfall prediction in weather derivatives" by Cramer S., Kampouridis M, Freitas A.A, and Alexandridis A.K received the highest citation count of 129. The study also classified 15 keywords into 3 clusters, with common and fewer keywords. India emerged as the country with the most publications on classifying or predicting rainfall, and the subject areas of computer science and engineering dominated the distribution of articles. Developing the use of deep learning methods and adding feature extraction algorithms in selecting features used to model data can improve the efficiency and accuracy of the rainfall classification - prediction process. The development of research data using radar images with the type of image processing research can also be maximised for research related to classification - prediction of rainfall using machine learning methods.

Keywords: Bibliometric, Rainfall, Classification, Prediction, Machine Learning

Studi Bibliometrik : Klasifikasi - Prediksi Curah Hujan menggunakan Metode Machine Learning

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mereview metode atau teknik machine learning yang digunakan untuk mengklasifikasi atau memprediksi curah hujan dengan berbagai fitur yang digunakan dari data yang sudah ada sebelumnya. Studi ini menggunakan pendekatan bibliometrik dengan metadata yang terkait dengan studi klasifikasi curah hujan dicari menggunakan kata kunci rainfall classification and prediction using machine learning yang terbit pada jurnal scopus dan ditemukan 94 metadata artikel yang disimpan dalam file Comma Separated Values (CSV). Data dalam artikel ini menggunakan artikel yang diterbitkan dalam 10 tahun terakhir dari tahun 2014 – 2023 dengan topik yang relevan. Diharapkan penelitian ini dapat membantu peneliti dalam pengembangan teknik machine learning yang dapat meningkatkan kemampuan dalam melakukan klasifikasi dan prediksi curah hujan dengan lebih baik. Temuan dari studi ini ialah: pertama, jumlah artikel publish mengalami peningkatan sebesar 221,43% dari tahun 2018 – 2022. Kedua, artikel yang ditulis Cramer S., Kampouridis M, Freitas A.A, dan Alexandridis A.K dengan judul "An extensive evaluation of seven machine learning methods for rainfall prediction in weather

<https://doi.org/10.31849/digitalzone.v14i2.16618>

Digital Zone is licensed under a Creative Commons Attribution International (CC BY-SA 4.0)

derivatives" (2017) menjadi artikel dengan sitasi tertinggi yakni 129 sitasi. Ketiga, Dari 15 keyword tersebut diklasifikasikan menjadi 3 cluster dengan keyword utama dan pendukungnya. Keempat, kecenderungan peneliti menggunakan keyword umum seperti *rainfall classification*, sedangkan keyword yang mengarah langsung ke metode *machine learning* yang digunakan cenderung jarang digunakan. Kelima, negara terbanyak dan paling dominan yang membahas mengenai klasifikasi – prediksi curah hujan adalah India. Keenam, sebaran artikel berdasarkan subject area nya didominasi oleh subject *computer science* dan *engineering*. Pengembangan penggunaan metode *deep learning* dan menambahkan algoritma *feature extraction* dalam menyeleksi fitur yang digunakan untuk memodelkan data dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dari proses klasifikasi – prediksi curah hujan. Pengembangan data penelitian menggunakan citra radar dengan jenis penelitian *image processing* juga dapat dimaksimalkan untuk penelitian berkaitan dengan klasifikasi – prediksi curah hujan menggunakan metode *machine learning*.

Kata kunci: Bibliometrik, Curah hujan, Klasifikasi, Prediksi, Machine Learning

1. Pendahuluan

Bencana alam selalu menjadi ancaman utama bagi kehidupan manusia dan infrastruktur, menyebabkan kerusakan dan kerugian yang sangat besar. Dalam beberapa tahun terakhir, meningkatnya frekuensi dan tingkat keparahan bencana alam telah menyoroti perlunya strategi manajemen bencana yang lebih efektif dan efisien [1]–[3]. Jenis bencana alam yang paling umum terjadi dan memiliki dampak yang signifikan salah satunya adalah bencana hidrometeorologi. Bencana ini merupakan hasil dari interaksi kompleks antara faktor-faktor meteorologi (yang berkaitan dengan cuaca) dan hidrologi (yang berkaitan dengan air). Bencana hidrometeorologi mencakup sejumlah peristiwa ekstrem, seperti banjir, tanah longsor, topan, gelombang panas, kekeringan, dan masih banyak lagi [4]–[8]. Setiap tahun, bencana-bencana ini menyebabkan kerusakan yang meluas, kerugian ekonomi yang besar, serta dampak serius pada kesejahteraan manusia dan lingkungan. Salah satu contoh kerusakan yang disebabkan oleh banjir adalah pecahnya bendungan dan kebocoran air [9]. Perhitungan besaran curah hujan menjadi parameter penting dalam analisis iklim dan hidrologi. Perubahan iklim global memengaruhi pola curah hujan di berbagai wilayah [10]. Secara global, curah hujan adalah faktor penting dalam perencanaan dan pengelolaan pertanian di wilayah terkait karena curah hujan yang berlebihan memicu banjir sedangkan curah hujan yang tidak mencukupi menyebabkan kekeringan [11]–[13].

Memahami pola dan perilaku curah hujan dapat membantu dalam perencanaan sumber daya air, manajemen bencana, dan keberlanjutan lingkungan [14]. Dalam manajemen sumber daya air, curah hujan menjadi faktor penting. Dengan memahami pola curah hujan, pihak terkait dapat merencanakan penggunaan air secara efisien, termasuk irigasi pertanian, suplai air perkotaan, dan pembangkit listrik tenaga air [15], [16]. Dalam upaya untuk mengurangi risiko banjir, penting untuk memperkirakan tingginya curah hujan yang dapat menyebabkan banjir.

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi telah memberikan akses yang lebih besar terhadap data curah hujan yang terukur dari stasiun cuaca atau sensor satelit. Namun, menganalisis data curah hujan secara manual dan mengklasifikasikannya menjadi kategori tertentu dapat menjadi tugas yang rumit dan memakan waktu [17]. Dengan klasifikasi curah hujan yang baik, dapat dibuat sistem peringatan dini yang efektif untuk membantu mengurangi kerugian akibat banjir [18]. Klasifikasi curah hujan merupakan komponen penting dalam peramalan cuaca. Dengan mempelajari pola curah hujan di masa lalu, kita dapat meningkatkan akurasi peramalan cuaca jangka pendek dan jangka panjang [19].

Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), ada enam jenis hujan, yaitu berawan, hujan ringan, hujan sedang, hujan lebat, hujan sangat lebat, dan hujan ekstrem. Curah hujan bervariasi mulai dari 0 hingga 0,5 milimeter per hari saat cuaca berawan, 0,5 hingga 20 milimeter per hari saat hujan ringan, 20 hingga 50 milimeter per hari saat hujan sedang, 50 hingga 100 milimeter per hari saat hujan lebat, 100 hingga 150 milimeter per hari saat hujan sangat lebat, dan melebihi 150 milimeter per hari saat hujan ekstrem [20], [21].

Penentuan cuaca melibatkan penerapan ilmu dan teknologi dalam mengidentifikasi kondisi atmosfer bumi. Proses ini menggunakan suatu pendekatan untuk menghasilkan informasi tentang kondisi cuaca. Pendekatan yang efektif telah menjadi kegiatan rutin bagi para peneliti

cuaca dan atmosfer baru-baru ini. Untuk meningkatkan hasil yang lebih baik dan akurat, para peneliti dianjurkan untuk terus mengeksplorasi penelitian terkait atmosfer cuaca dan mengembangkan metode yang sesuai untuk memenuhi kebutuhan informasi mengenai cuaca atau kondisi atmosfer. [22]

Machine learning merupakan disiplin dalam ilmu komputer yang berfokus pada pengembangan sistem komputer yang mampu belajar dan meningkatkan kinerjanya sendiri melalui pengalaman [23]. Idea pokok di dalam *machine learning* adalah memberikan kemampuan komputer untuk belajar dari data tanpa memerlukan pemrograman eksplisit yang rinci. Proses pelatihan model *machine learning* melibatkan memberikan data ke dalam model dan mengajarkan model bagaimana cara melakukan tugas tertentu dengan menganalisis data tersebut [24]. Setelah dilatih, model *machine learning* dapat digunakan untuk membuat prediksi atau mengambil keputusan berdasarkan data baru yang tidak diberikan saat pelatihan. Kemampuan untuk belajar dan beradaptasi dengan data baru menjadikan metode *machine learning* digunakan untuk mengklasifikasi atau memprediksi curah hujan dalam banyak penelitian [19], [25]–[33]. Dalam konteks ini, penelitian bibliometrik tentang klasifikasi curah hujan menjadi sangat relevan. Bibliometrik adalah sebuah pendekatan ilmiah yang digunakan untuk menganalisis literatur ilmiah yang ada dalam suatu bidang penelitian untuk menelaah pertumbuhan saat ini dan perkembangan masa depan dari setiap bidang penelitian. Melalui analisis bibliometrik, sehingga dapat mengidentifikasi tren, pola, dan perkembangan dalam penelitian tentang klasifikasi curah hujan, serta memahami kontribusi penelitian terhadap pemahaman mengenai fenomena curah hujan.

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan *rainfall classification – prediction* telah banyak dilakukan, baik yang menggunakan satu metode *machine learning*, maupun mengkombinasikan beberapa metode. [34] mengusulkan sebuah teknik berbasis IoT untuk memprediksi ramalan curah hujan di daerah pesisir India menggunakan jaringan Long Short-Term Memory (LSTM) untuk menangkap ketergantungan temporal antara data curah hujan yang dikumpulkan dari daerah pesisir dan parameter model prediksi. Hasil penelitian ini memprediksi curah hujan dengan akurasi rata-rata 89% menggunakan model yang diusulkan menyatakan bahwa model yang diusulkan efektif untuk memprediksi curah hujan di daerah pesisir. [35], [36] menggunakan *random forest classification* untuk mengklasifikasikan curah hujan. [37], [38] menggunakan variasi dan peningkatan metode *support vector machine (SVM)* dalam memprediksi curah hujan.

Pencarian dan tinjauan komprehensif mengenai literatur yang telah dipublikasikan berkaitan dengan curah hujan baik dari sisi judul artikel maupun tersebut dalam abstrak menunjukkan bahwa terdapat lebih dari 1700 artikel yang terindeks pada *database scopus*. Maka dirasa perlu untuk menganalisis secara sistematis dan menyajikan gambaran umum tentang kondisi terkini dari *landscape* penelitian mengenai curah hujan yang dikaitkan dengan pengklasifikasian dan prediksi menggunakan metode *machine learning* dikarenakan belum ditemukan publikasi di *database scopus* tentang analisis bibliometrik terkait klasifikasi-prediksi curah hujan menggunakan metode *machine learning*. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis bibliometrik yang komprehensif terhadap literatur ilmiah yang berhubungan dengan aplikasi metode *machine learning* dalam klasifikasi - prediksi curah hujan. Dengan memahami perkembangan penelitian tentang klasifikasi curah hujan melalui pendekatan bibliometrik, sehingga dapat mengidentifikasi peluang penelitian yang belum terpenuhi, mengidentifikasi gap dalam literatur, dan berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang curah hujan, metode *machine learning* dan implikasinya dalam berbagai sektor.

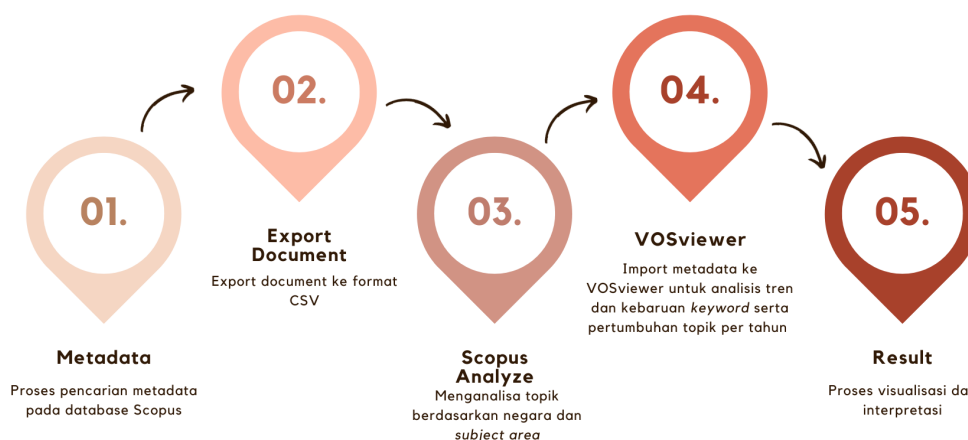
2. Metode Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian bibliometrik. Bibliometrik adalah metode analisis kuantitatif yang menggunakan metode matematika dan statistik untuk mempelajari literatur dan distribusi [39]. Penelitian ini memiliki tiga tahapan mencakup proses pencarian, penyimpanan dan analisis data [40]. Data dalam artikel ini jenisnya adalah metadata yang relevan dengan bidang

klasifikasi – prediksi curah hujan. Data ini dikumpulkan dari *database Scopus* yang diakses tanggal 3 Agustus 2023 dengan batasan waktu pengumpulan data dengan penelitian yang dipublish dalam 10 tahun terakhir antara tahun 2014– 2023 untuk memastikan relevansi dengan kondisi terkini dalam penelitian klasifikasi curah hujan. Meta data yang dikumpulkan dengan menggunakan keyword pencarian "rainfall" AND "classification" OR "prediction" AND "machine" AND "learning". Seluruh artikel yang didapat diekstrak ke file Microsoft Excel untuk melakukan analisis keterkaitan antar penulis.

Metadata yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan *tools* analisa dari *website scopus* dan juga diekstrak ke jenis file CSV untuk kemudian dianalisis menggunakan aplikasi VOSviewer. VOS ("visualization of similarities") adalah sebuah konsep yang dikembangkan kurang dari dua dekade yang lalu untuk menganalisis dan memvisualisasikan pola di dalam data [41] Beberapa tahun kemudian, konsep VOS dikembangkan menjadi program yang disebut VOSviewer untuk analisis bibliometrik, sehingga telah diadopsi secara luas dalam studi bibliometrik dan sitasi untuk membangun dan memvisualisasikan jaringan bibliometrik, dengan jurnal, peneliti, atau *individual publications as actors*, berdasarkan *co-citation*, *bibliographic coupling*, atau *co-authorship relations* [42]

File CSV yang diperoleh sebelumnya kemudian dimasukkan ke software VOSviewer untuk menghasilkan statistik yang dibutuhkan. Terdapat enam objek yang akan diobservasi dari meta data tersebut. Pertama terkait dengan perkembangan topik klasifikasi – prediksi curah hujan. Kedua terkait dengan keyword yang relevan dalam kajian klasifikasi – prediksi curah hujan. Ketiga terkait dengan kolaborasi penulis terkait dengan topik klasifikasi – prediksi curah hujan. Keempat terkait dengan novelty dalam topik klasifikasi – prediksi curah hujan. Kelima, terkait dengan sebaran artikel berdasarkan negara, dan keenam, terkait dengan sebaran artikel berdasarkan *subject area*. Secara garis besar proses analisis data dalam artikel ini dapat dilihat dalam Gambar 1.



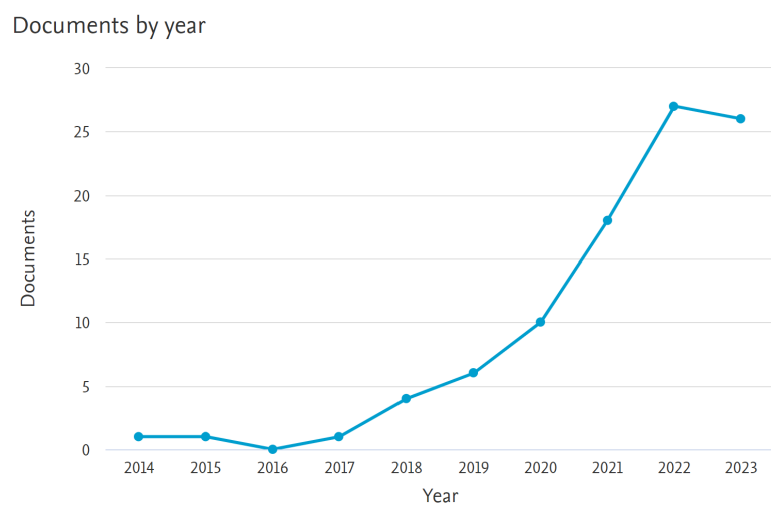
Gambar 1. Proses Analisis Metadata

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini, disajikan beberapa hasil penelitian bibliometrik terkait penggunaan metode *machine learning* dalam mengklasifikasikan curah hujan. Pertama, pembahasan mengenai penggunaan *machine learning* dalam mengklasifikasi curah hujan ditelaah dalam 10 tahun terakhir yakni dari 2014 sampai 2023. Dalam rentang tersebut, ditemukan 94 artikel yang membahas mengenai topik klasifikasi atau prediksi curah hujan menggunakan metode *machine learning*. Perkembangan pembahasan topik mengenai klasifikasi curah hujan menggunakan metode *machine learning* dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa perkembangan pembahasan mengenai klasifikasi – prediksi curah hujan menggunakan *machine learning* mengalami dinamika perkembangan yang cukup signifikan pada beberapa tahun terakhir. Diawal tahun 2014 hingga 2017 artikel yang

terpublish di scopus dengan topik terkait hanya 1 sampai 2 artikel pertahunnya. Masuk tahun 2018 hingga 2020 mengalami peningkatan artikel yang publish pertahunnya sebanyak 4 sampai 10 artikel. Pada tahun 2021 hingga 2022 mengalami peningkatan yang cukup signifikan dimana artikel publish dengan topik klasifikasi curah hujan menggunakan metode *machine learning* terdapat 18 artikel ditahun 2021 dan 27 artikel ditahun 2022 atau bisa dikatakan mengalami peningkatan sebesar 221,43%. Pada tahun 2023 sampai bulan Agustus terdapat 26 artikel yang telah ter-publish.



Gambar 2. Perkembangan Topik Klasifikasi Curah Hujan

Selain dari pertumbuhan yang cukup mencolok dalam hal klasifikasi curah hujan dari tahun 2014 hingga 2023, artikel ini juga mencatat bahwa terdapat 10 artikel dengan jumlah sitasi tertinggi. Daftar artikel dan sitasinya dapat dilihat pada Tabel 1.

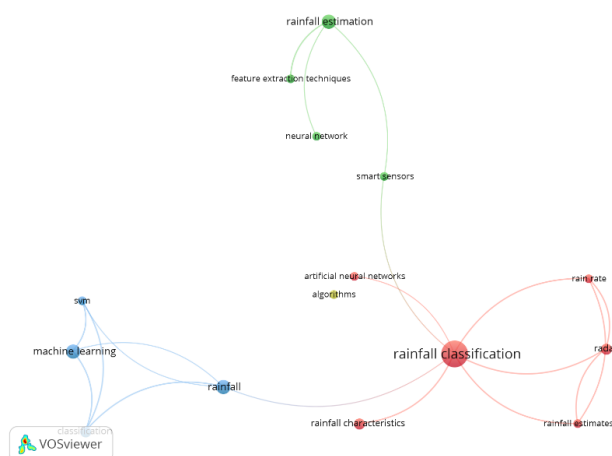
Tabel 1. Artikel Topik Klasifikasi Curah Hujan

No	Publication Year	Document Title	Authors	Sitasi
1	2017	<i>An extensive evaluation of seven machine learning methods for rainfall prediction in weather derivatives</i>	Cramer S., Kampouridis M., Freitas A.A., Alexandridis A.K.	129
2	2014	<i>Extreme learning machine for the displacement prediction of landslide under rainfall and reservoir level</i>	Lian C., Zeng Z., Yao W., Tang H.	71
3	2020	<i>Long-term rainfall prediction using atmospheric synoptic patterns in semi-arid climates with statistical and machine learning methods</i>	Diez-Sierra J., del Jesus M.	58
4	2020	<i>Rainfall prediction using machine learning deep learning techniques</i>	Basha C.Z., Bhavana N., Bhavya P., Sowmya V.	51
5	2022	<i>Rainfall prediction system using machine learning fusion for smart cities</i>	Rahman A.-U., Abbas S., Gollapalli M., Ahmed R., Aftab S., Ahmad M., Khan M.A., Mosavi A.	42

6	2020	<i>Rainfall-induced landslide prediction using machine learning models: The case of ngororero district, rwanda</i>	Kuradusenge M., Kumaran S., Zennaro M.	30
7	2021	<i>Machine learning prediction of landslide deformation behaviour using acoustic emission and rainfall measeurements</i>	Deng L., Smith A., Dixon N., Yuan H.	26
8	2021	<i>Ensemble machine learning models based on reduced error pruning tree for prediction of rainfall-induced landslides</i>	Pham B.T., Jaafari A., Nguyen-Thoi T., Van Phong T., Nguyen H.D., Satyam N., Masroor M., Rehman S., Sajjad H., Sahana M., Van Le H., Prakash I.	24
9	2020	<i>Low cost IOT based flood monitoring system using machine learning and neural networks: flood alerting and rainfall prediction</i>	Rani D.S., Jayalakshmi G.N., Baligar V.P.	24
10	2018	<i>Heuristic prediction of rainfall using machine learning techniques</i>	Thirumalai C., Harsha K.S., Deepak M.L., Krishna K.C.	23

Sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1 bahwa dari 10 artikel yang disitasi terbanyak, artikel yang ditulis Cramer S., Kampouridis M, Freitas A.A, dan Alexandridis A.K dengan judul “*An extensive evaluation of seven machine learning methods for rainfall prediction in weather derivatives*” (2017) menjadi artikel dengan sitasi tertinggi yakni 129 sitasi. Penelitian terbaru dengan jumlah sitasi terbanyak yakni artikel yang ditulis oleh Rahman A.-U dkk dengan judul *Rainfall Prediction System Using Machine Learning Fusion for Smart Cities* (2022) telah disitasi sebanyak 42 kali.

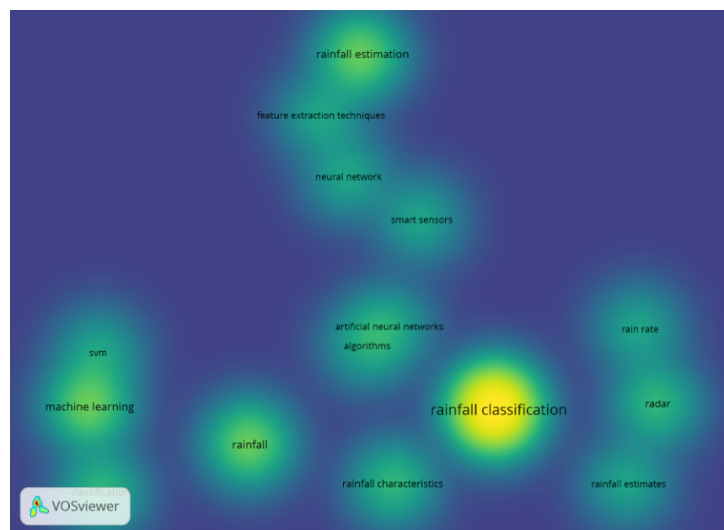
Gambar 3 menunjukkan tren keyword dari artikel dengan topik rainfall classification-prediction. Terdapat 15 (lima belas) keyword yang sering digunakan dalam membahas topik rainfall classification – prediction. Dari 15 keyword tersebut diklasifikasikan menjadi 3 *cluster*. *Cluster* pertama (merah) keyword utamanya adalah “rainfall classification” dengan lima keyword yang mengikutinya yaitu *rain rate*, *artificial neural networks*, *radar*, *rainfall estimates*, dan *rainfall characteristics*. *Cluster* kedua (hijau) keyword utamanya adalah “rainfall estimation” dengan tiga keyword yang menyertainya, yaitu *neural network*, *smart sensors*, dan *feature extraction techniques*. *Cluster* ketiga (biru) keyword utamanya adalah *machine learning* dengan tiga keyword yang mengikutinya yakni *rainfall*, *svm*, dan *classification*.



Gambar 3. Tren keyword Rainfall Classification - Prediction

Pada klaster pertama ialah *keyword rainfall classification* memiliki kaitan dengan *keyword* pendukungnya. Kaitan disini lebih kearah penjabaran lebih lanjut mengenai hal – hal yang dibutuhkan untuk melakukan klasifikasi curah hujan, seperti *rainfall characteristic* merujuk kearah atribut atau fitur apa saja yang dibutuhkan untuk mengklasifikasi curah hujan seperti jumlah curah hujan tertakar, suhu, tekanan udara, kelembaban udara, jumlah tutupan awan, dan lama penyiaran matahari. Klaster kedua terkait dengan kata kunci *machine learning* dan memiliki hubungan erat dengan kata kunci pendukungnya, seperti SVM. SVM adalah salah satu teknik *machine learning* yang sering digunakan untuk melakukan klasifikasi dan prediksi curah hujan.

Baik *keyword* utama dan elemen pendukungnya bisa menjadi peluang untuk menghasilkan inovasi. Mengacu pada *output* visualisasi dari VOSviewer seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Novelty atau kebaruan topik rainfall classification

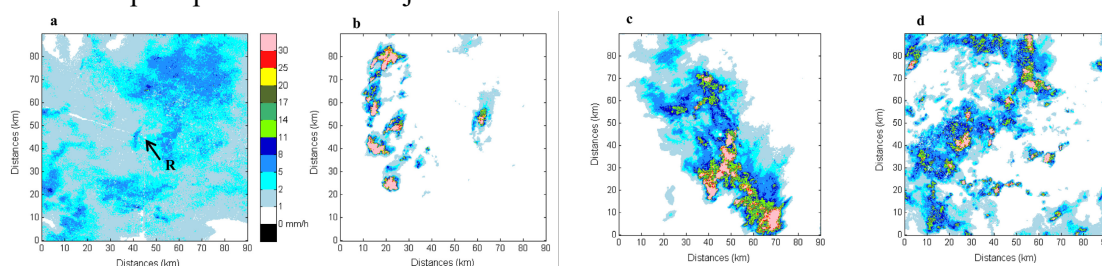
Gambar 4 menunjukkan bahwa kecenderungan peneliti menggunakan *keyword* umum seperti *rainfall classification* dibuktikan dengan pekatnya warna kuning pada *keyword* tersebut. Sedangkan *keyword* yang mengarah langsung ke metode *machine learning* yang digunakan cenderung jarang digunakan. Ketika terdapat penelitian serupa yang telah menggunakan metode *machine learning* yang sama, artikel-artikel yang tidak mencantumkan *keyword* metode tersebut dapat kehilangan koneksi dengan penelitian serupa, yang kemudian dapat mengurangi kemampuan untuk membandingkan dan menganalisis hasil, yang sangat penting dalam pengembangan pengetahuan. Dengan mencantumkan *keyword* yang relevan, pembaca yang awam dalam bidang *machine learning* dapat lebih mudah memahami bahwa teknologi ini digunakan dalam konteks klasifikasi curah hujan. Hal ini dapat meningkatkan kejelasan dalam pemahaman terhadap kontribusi penelitian.

Hal menarik berkaitan dengan metode *machine learning* yang digunakan oleh peneliti untuk mengklasifikasi dan atau memprediksi curah hujan menggunakan pendekatan dengan metode *deep learning*. *Deep learning* memiliki kemampuan untuk menangani data yang kompleks, dimana sesuai dengan data curah hujan yang memiliki banyak faktor atau atribut yang berpengaruh. Pemilihan fitur yang benar – benar relevan dapat dimaksimalkan dengan menggunakan tambahan algoritma *feature extraction* agar atribut yang digunakan untuk menghasilkan model memang benar – benar atribut yang memiliki pengaruh signifikan, hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya [43] yang membuat penelitian *Systematic Literature Review*

<https://doi.org/10.31849/digitalzone.v14i2.16618>

(SLR) mengenai prediksi curah hujan menggunakan teknik data mining dengan hasil penelitian bahwa menggunakan lebih banyak fitur bukan jaminan untuk hasil prediksi yang lebih akurat. Atribut yang tidak relevan dapat mempengaruhi kinerja. Dengan demikian, diperlukan penggabungan atribut yang relevan untuk meningkatkan akurasi prediksi curah hujan yang tepat, terutama karena kombinasi ini berbeda-beda antara satu situasi dan situasi lainnya.

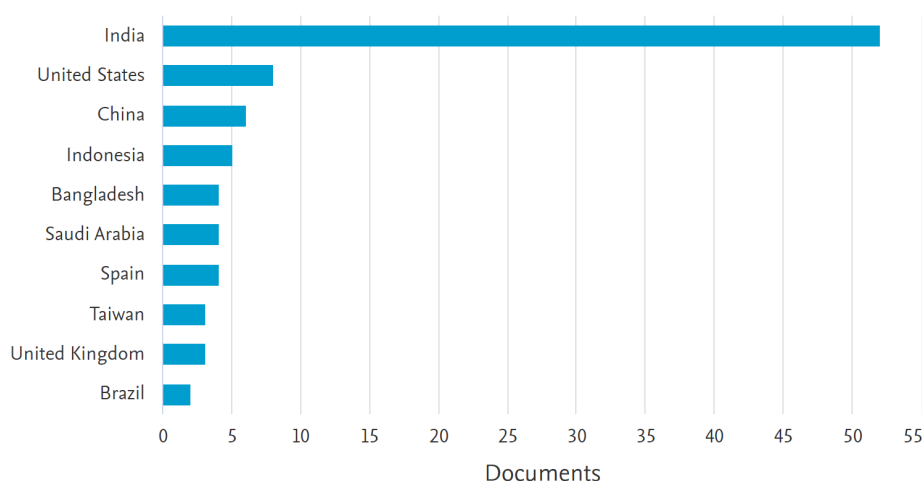
Dari sisi data yang digunakan dalam penelitian, rata – rata penelitian menggunakan data cuaca masa lalu dengan atribut iklim yang digunakan seperti polaritas curah hujan, ukuran curah hujan, suhu minimum dan maksimum, kecepatan angin, dan kelembaban [43]. Dalam hal ini penggunaan data berbasis *image* belum banyak dilakukan, dalam hal klasifikasi – prediksi curah hujan dapat dilakukan menggunakan citra radar dengan metode *machine learning* yang mendukung *image processing*. Penggunaan citra radar yang telah dilakukan oleh beberapa penelitian seperti [44] menggunakan citra radar untuk memprediksi banjir bandang dan pemetaan kerentanan pada periode musim hujan.



Gambar 5. Contoh Radar Image [45]

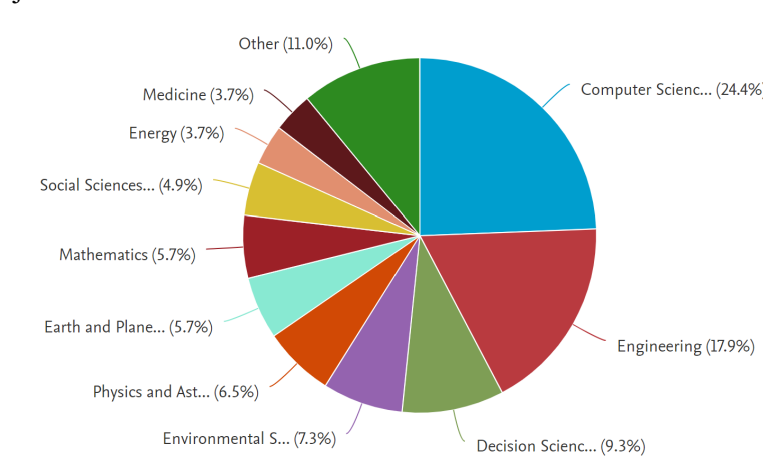
Gambar 5 menunjukkan contoh *radar image* yang bisa digunakan untuk mengklasifikasi curah hujan selain menggunakan data cuaca masa lalu dengan berbagai atribut. [45] mengklasifikasi curah hujan dengan data citra radar dengan algoritma klasifikasi *scatter transform* dengan *range* akurasi klasifikasi 83.8% hingga 98.2%. Penelitian menggunakan citra radar ini dapat dikembangkan lagi menggunakan metode *machine learning* lainnya atau kombinasi dari beberapa metode sehingga diharapkan tingkat akurasi dapat ditingkatkan.

Topik artikel klasifikasi curah hujan diteliti oleh peneliti dari berbagai negara ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Sebaran artikel berdasarkan negara

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa negara terbanyak dan paling dominan yang membahas mengenai klasifikasi – prediksi curah hujan adalah India diikuti oleh Amerika Serikat dan China pada posisi kedua dan ketiga terbanyak, sedangkan Indonesia juga termasuk lima besar (berada di posisi ke-empat) negara terbanyak artikel membahas topik klasifikasi – prediksi curah hujan. India menjadi negara terbanyak yang membahas mengenai klasifikasi – prediksi curah hujan [46]–[52] juga dikarenakan banyaknya kasus hidrometeorologi yang terjadi seperti banjir dan hujan es [53]. Untuk sebaran *subject area* artikel dengan topik *rainfall classification – prediction* ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7. Sebaran artikel berdasarkan *subject area*

Gambar 6 melihat sebaran artikel berdasarkan *subject area* nya didominasi oleh *subject computer science* dan *engineering* karena memang *machine learning* utamanya dibahas pada *subject computer science* dan *engineering* dengan curah hujan sebagai objek penelitiannya.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menemukan bahwa: Pertama, jumlah artikel publish mengalami peningkatan sebesar 221,43% dari tahun 2018 – 2022. Kedua, artikel yang ditulis Cramer S., Kampouridis M, Freitas A.A, dan Alexandridis A.K dengan judul *An extensive evaluation of seven machine learning methods for rainfall prediction in weather derivatives* (2017) menjadi artikel dengan sitasi tertinggi yakni 129 sitasi. Ketiga, Dari 15 keyword tersebut diklasifikasikan menjadi 3 cluster dengan keyword utama dan pendukungnya. Keempat, kecenderungan peneliti menggunakan keyword umum seperti *rainfall classification*, sedangkan keyword yang mengarah langsung ke metode *machine learning* yang digunakan cenderung jarang digunakan. Kelima, negara terbanyak dan paling dominan yang membahas mengenai klasifikasi – prediksi curah hujan adalah India. Keenam, sebaran artikel berdasarkan *subject area* nya didominasi oleh *subject computer science* dan *engineering*.

Untuk penggunaan metode *machine learning* telah banyak diteliti namun masih belum rinci penggunaan keyword metode *machine learning* yang digunakan dalam penelitian. Penggunaan keyword yang langsung menyebutkan metode *machine learning* yang digunakan dapat memudahkan pembaca dalam mengetahui langsung metode apa yang digunakan dan memudahkan peneliti lain untuk membandingkan hasil penelitian. Pengembangan penggunaan metode *deep learning* dan menambahkan algoritma *feature extraction* dalam menyeleksi atribut atau fitur yang digunakan untuk memodelkan data dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dari proses klasifikasi – prediksi curah hujan. Pengembangan data penelitian menggunakan citra radar dengan jenis penelitian *image processing* juga dapat dimaksimalkan untuk penelitian berkaitan dengan klasifikasi – prediksi curah hujan menggunakan metode *machine learning*.

Daftar Pustaka

- [1] R. Hua, Q. Liu, Y. Tse, and Q. Yu, "The impact of natural disaster risk on the return of agricultural futures," *J Asian Econ*, vol. 87, Aug. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.asieco.2023.101632>.
- [2] M. Krichen, M. S. Abdalzaher, M. Elwekeil, and M. M. Fouda, "Managing natural disasters: An analysis of technological advancements, opportunities, and challenges," *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, Sep. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.09.002>.
- [3] K. Kourtiti, P. Nijkamp, and A. Banica, "An analysis of natural disasters' effects – A global comparative study of 'Blessing in Disguise,'" *Socioecon Plann Sci*, vol. 88, Aug. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101599>.
- [4] K. Ginige, K. Mendis, and M. Thayaparan, "An assessment of structural measures for risk reduction of hydrometeorological disasters in Sri Lanka," *Progress in Disaster Science*, vol. 14, Apr. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2022.100232>.
- [5] D. Ruslanjari, E. W. Safitri, F. A. Rahman, and C. Ramadhan, "ICT for public awareness culture on hydrometeorological disaster," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 92, Jun. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103690>.
- [6] J. E. Robles-Chávez and H. M. Nuñez, "Impacts of hydro-meteorological phenomena and disaster policies on the Mexican agricultural sector," *World Dev Perspect*, vol. 31, Sep. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2023.100521>.
- [7] R. Ramadhan *et al.*, "Trends in rainfall and hydrometeorological disasters in new capital city of Indonesia from long-term satellite-based precipitation products," *Remote Sens Appl*, vol. 28, Nov. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100827>.
- [8] A. C. Travieso Bello, O. F. Martínez, M. L. Hernández Aguilar, and J. C. Morales Hernández, "Comprehensive risk management of hydrometeorological disaster: A participatory approach in the metropolitan area of Puerto Vallarta, Mexico," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 87, Mar. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103578>.
- [9] R. Yang, H. Liu, N. Nikitas, Z. Duan, Y. Li, and Y. Li, "Short-term wind speed forecasting using deep reinforcement learning with improved multiple error correction approach," *Energy*, vol. 239, Jan. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122128>.
- [10] C. M. P. de Souza *et al.*, "Spatiotemporal prediction of rainfall erosivity by machine learning in southeastern Brazil," *Geocarto Int*, vol. 37, no. 26, pp. 11652–11670, 2022, <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2060318>.
- [11] M. Rezaeianzadeh, H. Tabari, A. Arabi Yazdi, S. Isik, and L. Kalin, "Flood flow forecasting using ANN, ANFIS and regression models," *Neural Comput Appl*, vol. 25, no. 1, pp. 25–37, 2014, <https://doi.org/10.1007/s00521-013-1443-6>.
- [12] R. Manzanar, L. K. Amekudzi, K. Preko, S. Herrera, and J. M. Gutiérrez, "Precipitation variability and trends in Ghana: An intercomparison of observational and reanalysis products," *Clim Change*, vol. 124, no. 4, pp. 805–819, 2014, <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1100-9>.
- [13] W. A. Atiah, L. K. Amekudzi, E. Quansah, and K. Preko, "The Spatio-Temporal Variability of Rainfall over the Agro-Ecological Zones of Ghana," *Atmospheric and Climate Sciences*, vol. 09, no. 03, pp. 527–544, 2019, <https://doi.org/10.4236/acs.2019.93034>.
- [14] N. Macdonald, T. Redfern, J. Miller, and T. R. Kjeldsen, "Understanding the impact of the built environment mosaic on rainfall-runoff behaviour," *J Hydrol (Amst)*, vol. 604, Jan. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127147>.
- [15] M. Moglia, "Urban agriculture and related water supply: Explorations and discussion," *Habitat Int*, vol. 42, pp. 273–280, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.01.008>.

- [16] M. A. Alberti, I. Blanco, G. Vox, G. Scarascia-Mugnozza, E. Schettini, and L. Pimentel da Silva, "The challenge of urban food production and sustainable water use: Current situation and future perspectives of the urban agriculture in Brazil and Italy," *Sustain Cities Soc*, vol. 83, Aug. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103961>.
- [17] R. He, L. Zhang, and A. W. Z. Chew, "Data-driven multi-step prediction and analysis of monthly rainfall using explainable deep learning," *Expert Syst Appl*, vol. 235, Jan. 2024, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121160>.
- [18] S. H. Moon, Y. H. Kim, Y. H. Lee, and B. R. Moon, "Application of machine learning to an early warning system for very short-term heavy rainfall," *J Hydrol (Amst)*, vol. 568, pp. 1042–1054, Jan. 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.060>.
- [19] D. L. Dunkerley, "Light and low-intensity rainfalls: A review of their classification, occurrence, and importance in landsurface, ecological and environmental processes," *Earth-Science Reviews*, vol. 214, Elsevier B.V., Mar. 01, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103529>.
- [20] C. D. Usman, A. P. Widodo, K. Adi, and R. Gernowo, "Rainfall prediction model in Semarang City using machine learning," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 30, no. 2, pp. 1224–1231, 2023, <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v30.i2.pp1224-1231>.
- [21] W. A. Kusuma, A. P. Widodo, R. Santoso, E. Suharto, and P. W. Wirawan, "Comparison of Machine Learning Algorithms for Rainfall Prediction in Semarang City," in *Proceedings - 2022 9th International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering, ICITACEE 2022*, 2022, pp. 44–49, <https://doi.org/10.1109/ICITACEE55701.2022.9924039>.
- [22] Herwanto R, Purnomo RF, and Sriyanto, "RAINFALL PREDICTION USING DATA MINING TECHNIQUES."
- [23] A. Kumar and S. Singh, "A Review on Indian Summer Monsoon Rainfall Prediction Using Machine Learning Techniques," in *ICSCCC 2021 - International Conference on Secure Cyber Computing and Communications*, 2021, pp. 524–528, <https://doi.org/10.1109/ICSCCC51823.2021.9478104>.
- [24] Kausari MM and Agustian S, "SVM Method with FastText Representation Feature for Classification of Twitter Sentiments Regarding the Covid-19 Vaccination Program," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi (Digital Zone)*, 2022.
- [25] C. M. Liyew and H. A. Melese, "Machine learning techniques to predict daily rainfall amount," *J Big Data*, vol. 8, no. 1, Dec. 2021, <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00545-4>.
- [26] C. Shen and S. Xue, "Displacement Prediction of Rainfall-induced Landslide Based on Machine Learning," *J Coast Res*, vol. 83, pp. 272–276, 2018, <https://doi.org/10.2112/SI83-044.1>.
- [27] H. Harsa *et al.*, "Machine learning and artificial intelligence models development in rainfall-induced landslide prediction," *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, vol. 12, no. 1, pp. 262–270, 2023, <https://doi.org/10.11591/ijai.v12.i1.pp262-270>.
- [28] M. Kuradusenge, S. Kumaran, and M. Zennaro, "Rainfall-induced landslide prediction using machine learning models: The case of ngororero district, rwanda," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 17, no. 11, pp. 1–20, 2020, <https://doi.org/10.3390/ijerph17114147>.
- [29] B. T. Pham *et al.*, "Ensemble machine learning models based on Reduced Error Pruning Tree for prediction of rainfall-induced landslides," *Int J Digit Earth*, vol. 14, no. 5, pp. 575–596, 2021, <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1860145>.
- [30] B. T. Pham *et al.*, "Ensemble machine learning models based on Reduced Error Pruning Tree for prediction of rainfall-induced landslides," *Int J Digit Earth*, vol. 14, no. 5, pp. 575–596, 2021, <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1860145>.

- [31] R. K. Grace and B. Suganya, "Machine Learning based Rainfall Prediction," in *2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2020*, 2020, pp. 227–229. <https://doi.org/10.1109/ICACCS48705.2020.9074233>.
- [32] K. Prathibha, G. Rithvik Reddy, H. Kosre, K. Lohith Kumar, A. Rajak, and R. Tripathi, "Rainfall Prediction Using Machine Learning," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2023, pp. 457–468. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0085-5_37.
- [33] A. Gupta, H. K. Mall, and S. Janarthanan, "Rainfall Prediction Using Machine Learning," in *2022 1st International Conference on Artificial Intelligence Trends and Pattern Recognition, ICAITPR*, 2022, pp. 2022. <https://doi.org/10.1109/ICAITPR51569.2022.9844203>.
- [34] J. Nithyashri, R. K. Poluru, S. Balakrishnan, M. Ashok Kumar, P. Prabu, and S. Nandhini, "IOT based prediction of rainfall forecast in coastal regions using deep reinforcement model," *Measurement: Sensors*, vol. 29, Oct. 2023, pp. 100877. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100877>.
- [35] L. Royimani, O. Mutanga, J. Odindi, K. S. Zolo, M. Sibanda, and T. Dube, "Distribution of Parthenium hysterophoru L. with variation in rainfall using multi-year SPOT data and random forest classification," *Remote Sens Appl*, vol. 13, pp. 215–223, Jan. 2019, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.11.007>.
- [36] F. Ouallouche, M. Lazri, and S. Ameer, "Improvement of rainfall estimation from MSG data using Random Forests classification and regression," *Atmos Res*, vol. 211, pp. 62–72, Oct. 2018, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.001>.
- [37] M. Sehad, M. Lazri, and S. Ameer, "Novel SVM-based technique to improve rainfall estimation over the Mediterranean region (north of Algeria) using the multispectral MSG SEVIRI imagery," *Advances in Space Research*, vol. 59, no. 5, pp. 1381–1394, Mar. 2017, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.11.042>.
- [38] A. Belghit, M. Lazri, F. Ouallouche, K. Labadi, and S. Ameer, "Optimization of One versus All-SVM using AdaBoost algorithm for rainfall classification and estimation from multispectral MSG data," *Advances in Space Research*, vol. 71, no. 1, pp. 946–963, Jan. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.08.075>.
- [39] Y. Zhou, W. Tiemuer, and L. Zhou, "Bibliometric analysis of smart livestock from 1998-2022," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2022, pp. 1428–1435. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.11.327>.
- [40] L. Pratama, N. Sari, D. Pranata, N. Shalihin, W. Azwar, and M. Yusuf, "Analisis Bibliometrik: Kajian 'Fasilitas' dalam Isu Pemberdayaan," *Jurnal Pemberdayaan Masyarakat*, vol. 11, pp. 30–39, 2023, <https://doi.org/10.37064/jpm.v11i1.14268>.
- [41] N. Jan van Eck and L. Waltman, "VOS: A New Method for Visualizing Similarities Between Objects."
- [42] U. A. Bukar, M. S. Sayeed, S. F. A. Razak, S. Yogarayan, O. A. Amodu, and R. A. R. Mahmood, "A method for analyzing text using VOSviewer," *MethodsX*, vol. 11, Dec. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102339>.
- [43] S. Aftab, M. Ahmad, N. Hameed, M. Salman Bashir, I. Ali, and Z. Nawaz, "Rainfall Prediction using Data Mining Techniques: A Systematic Literature Review," 2018. [Online]. Available: www.ijacsa.thesai.org
- [44] S. V. Razavi-Termeh, M. B. Seo, A. Sadeghi-Niaraki, and S. M. Choi, "Flash flood detection and susceptibility mapping in the Monsoon period by integration of optical and radar satellite imagery using an improvement of a sequential ensemble algorithm," *Weather Clim Extrem*, vol. 41, Sep. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100595>.
- [45] M. Lagrange, H. Andrieu, I. Emmanuel, G. Busquets, and S. Loubri , "Classification of rainfall radar images using the scattering transform," *J Hydrol (Amst)*, vol. 556, pp. 972–979, Jan. 2018, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.063>.
- [46] M.S. Sreekanth, R. Rajesh, and J. Satheeshkumar, "Extreme Learning Machine for the Classification of Rainfall and Thunderstorm," *Journal of Applied Science*, 2015.

- [47] C. Nagesh, K. R. Chaganti, S. Chaganti, S. K. Khaleelullah, P. Naresh, and M. I. T. Hussan, "Leveraging Machine Learning based Ensemble Time Series Prediction Model for Rainfall Using SVM, KNN and Advanced ARIMA+ E-GARCH," *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, vol. 11, no. 7 s, pp. 353–358, Jul. 2023, <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i7s.7010>.
- [48] S. Hudnurkar and N. Rayavarapu, "Binary classification of rainfall time-series using machine learning algorithms," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 1945–1954, Apr. 2022, <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i2.pp1945-1954>.
- [49] A. Patel *et al.*, "Rainfall Prediction using Machine Learning Techniques for Sabarmati River Basin, Gujarat, India," *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol. 16, no. 1, pp. 101–108, 2023, <https://doi.org/10.25103/jestr.161.13>.
- [50] B. T. Pham *et al.*, "Ensemble machine learning models based on Reduced Error Pruning Tree for prediction of rainfall-induced landslides," *Int J Digit Earth*, vol. 14, no. 5, pp. 575–596, 2021, <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1860145>.
- [51] B. T. Pham *et al.*, "Ensemble machine learning models based on Reduced Error Pruning Tree for prediction of rainfall-induced landslides," *Int J Digit Earth*, vol. 14, no. 5, pp. 575–596, 2021, <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1860145>.
- [52] R. Kumar, M. P. Singh, B. Roy, and A. H. Shahid, "A Comparative Assessment of Metaheuristic Optimized Extreme Learning Machine and Deep Neural Network in Multi-Step-Ahead Long-term Rainfall Prediction for All-Indian Regions," *Water Resources Management*, vol. 35, no. 6, pp. 1927–1960, Apr. 2021, <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02822-6>.
- [53] S. Sen Roy *et al.*, "A new paradigm for short-range forecasting of severe weather over the Indian region," *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 133, no. 4, pp. 989–1008, Aug. 2021, <https://doi.org/10.1007/s00703-021-00788-z>.