

Pemetaan Tren Penelitian dan Identifikasi Kesenjangan Ilmiah dalam Energi Air (Hydropower): Studi Bibliometrik

Rafa Adhitya Dharmawangsa Nasution^{*1}, M Ridho Rahman Hasibuan², Hasyim Fadillah Lubis³, Erza Arkan Zharif⁴, Muhammad Ashbar As-Silmy⁵

^{1,2,3,4,5} Teknik Industri, Universitas Al-Azhar Medan, JL Pintu Air IV No. 214, Kwala Bekala, Padang Bulan, Medan, Indonesia

e-mail: ^{1*}rafakisaran123@gmail.com, ²p dunia179@gmail.com, ³hasyimfadillahlubis1@gmail.com, ⁴erzazharif@gmail.com, ⁵ashbar401@gmail.com

Abstract

This study aims to map research trends and identify scientific gaps in the field of hydropower using a bibliometric approach. The study is motivated by the increasing global energy demand and the urgency of transitioning toward sustainable renewable energy sources, where hydropower plays a significant role despite facing various technical, environmental, and research distribution challenges. Bibliometric analysis has been widely used to systematically evaluate scientific development, uncover research trends, and highlight gaps in renewable energy studies. The method employed in this study is a quantitative bibliometric analysis based on data retrieved from the Scopus database covering the period 2010–2025. The analysis was conducted using Bibliometrix and VOSviewer to examine publication trends, citation patterns, collaboration networks, and keyword co-occurrence. Previous studies have demonstrated that such approaches are effective in identifying dominant themes, emerging topics, and underexplored research areas in hydropower and renewable energy fields. The results reveal a significant increase in hydropower-related publications in recent years, with major contributions from countries such as China, the United States, and India. Thematic analysis indicates a shift in research focus from purely technical aspects toward more integrated approaches involving sustainability, energy transition, and environmental concerns. Furthermore, several research gaps are identified, particularly in terms of geographical imbalance, integration with modern energy systems, and the limited exploration of long-term social and environmental impacts. Similar findings in the literature also highlight disparities in global research contributions and the need for broader interdisciplinary approaches. In conclusion, hydropower research has grown substantially and is evolving toward a more multidisciplinary and sustainability-oriented direction. However, further efforts are required to expand research coverage more evenly and address existing gaps. This study is expected to serve as a reference for researchers and policymakers in advancing more sustainable and inclusive hydropower development.

Keywords : *hydropower, bibliometric analysis, research trends, research gaps, renewable energy*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan tren perkembangan penelitian serta mengidentifikasi kesenjangan ilmiah dalam bidang energi air (hydropower) menggunakan pendekatan bibliometrik. Latar belakang penelitian didasarkan pada meningkatnya kebutuhan energi global dan pentingnya transisi menuju energi terbarukan yang berkelanjutan, di mana hydropower menjadi salah satu sumber energi yang memiliki potensi besar namun masih menghadapi berbagai tantangan teknis, lingkungan, dan distribusi penelitian. Metode yang digunakan adalah analisis bibliometrik berbasis data dari Scopus pada periode 2010–2025, dengan bantuan perangkat lunak Bibliometrix dan VOSviewer untuk analisis tren publikasi, sitasi, kolaborasi, serta co-occurrence kata kunci. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah publikasi terkait hydropower mengalami peningkatan signifikan dalam beberapa tahun terakhir, dengan dominasi kontribusi dari negara seperti China, Amerika Serikat, dan India. Analisis tematik mengungkap adanya pergeseran fokus penelitian dari aspek teknis menuju pendekatan yang lebih terintegrasi dengan isu keberlanjutan, transisi energi, dan lingkungan. Selain itu, ditemukan beberapa kesenjangan ilmiah, terutama dalam distribusi geografis penelitian, integrasi hydropower dengan sistem energi modern, serta kurangnya kajian pada aspek sosial dan lingkungan jangka

panjang. Kesimpulannya, penelitian hydropower terus berkembang secara signifikan dan menunjukkan arah menuju pendekatan multidisipliner, namun masih diperlukan upaya untuk memperluas cakupan penelitian secara lebih merata dan mendalam. Studi ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti dan pembuat kebijakan dalam mengembangkan penelitian dan implementasi hydropower yang lebih berkelanjutan.

Kata Kunci: *hydropower*, *bibliometrik*, tren penelitian, kesenjangan ilmiah, energi terbarukan

PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu faktor fundamental dalam mendukung pertumbuhan ekonomi, pembangunan industri, serta peningkatan kualitas hidup masyarakat. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi global, ketergantungan terhadap sumber energi fosil menimbulkan berbagai permasalahan, seperti keterbatasan cadangan, fluktuasi harga, serta dampak lingkungan berupa emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, transisi menuju energi terbarukan menjadi agenda strategis dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) (Hasrudy Siregar & Fadillah Nasution, 2025; Siregar, Nasution, et al., 2024; Yildirim & Mejri, 2026). Energi terbarukan tidak hanya menawarkan sumber energi yang berkelanjutan, tetapi juga berperan dalam mengurangi dampak perubahan iklim serta meningkatkan ketahanan energi suatu negara.

Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi air (*hydropower*). Energi air memanfaatkan aliran atau jatuhnya air untuk menghasilkan listrik melalui turbin dan generator. Dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya, hydropower memiliki sejumlah keunggulan, antara lain efisiensi konversi energi yang tinggi, kapasitas produksi yang relatif stabil, serta kemampuan untuk menyediakan energi dalam skala besar. Selain itu, hydropower juga berkontribusi dalam mendukung stabilitas sistem kelistrikan melalui kemampuan *load balancing* dan penyimpanan energi dalam bentuk *pumped storage* (Brunissen et al., 2025; Siregar et al., 2025; Siregar, Siregar, et al., 2024). Secara global, energi air telah menjadi salah satu kontributor utama dalam bauran energi terbarukan dan memainkan peran penting dalam upaya dekarbonisasi sektor energi.

Meskipun demikian, pengembangan dan implementasi hydropower tidak terlepas dari berbagai tantangan. Beberapa isu utama yang sering menjadi perhatian meliputi dampak lingkungan terhadap ekosistem sungai, perubahan tata guna lahan, serta potensi konflik sosial dengan masyarakat sekitar. Selain itu, terdapat pula tantangan teknis seperti sedimentasi, variabilitas debit air akibat perubahan iklim, serta keterbatasan integrasi dengan sistem energi modern yang semakin kompleks. Dari sisi penelitian, perkembangan studi hydropower menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir, yang ditandai dengan meningkatnya jumlah publikasi serta semakin beragamnya fokus kajian. Sejumlah studi bibliometrik sebelumnya menunjukkan bahwa produksi penelitian hydropower secara global didominasi oleh beberapa negara utama, terutama China, Amerika Serikat, dan India, yang secara konsisten menjadi kontributor terbesar dalam jumlah publikasi dan pengembangan ilmu pengetahuan di bidang ini. Selain itu, negara lain seperti Brasil, Jerman, dan Inggris juga berperan dalam memperluas kajian, khususnya pada aspek teknologi dan kebijakan energi. Kajian-kajian tersebut umumnya menyoroti dominasi tema teknis, seperti efisiensi sistem, desain pembangkit, dan optimalisasi kinerja, serta mulai berkembang ke arah isu keberlanjutan, dampak lingkungan, dan integrasi energi.

Namun demikian, studi-studi tersebut masih cenderung bersifat parsial dan berfokus pada subtopik tertentu, seperti small hydropower atau pumped storage, sehingga belum memberikan gambaran yang komprehensif mengenai struktur dan dinamika penelitian hydropower secara global. Di sisi lain, terdapat ketidakseimbangan yang jelas dalam distribusi penelitian, di mana kontribusi dari negara berkembang di kawasan Afrika, Asia Tenggara (termasuk Indonesia), dan sebagian Amerika Latin masih relatif terbatas dibandingkan dengan dominasi China, Amerika Serikat, dan India. Selain itu, secara tematik, penelitian masih didominasi oleh aspek teknis, sementara aspek sosial, kebijakan, serta integrasi dengan sistem energi modern seperti smart grid dan transisi energi masih belum banyak dieksplorasi. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan ilmiah (*research gap*) yang signifikan, khususnya dalam kebutuhan akan pemetaan yang lebih menyeluruh, seimbang secara geografis, serta integratif secara tematik dalam kajian hydropower (Swamy Reddy et al., 2025).

Dalam konteks tersebut, analisis bibliometrik menjadi salah satu pendekatan yang relevan untuk memetakan perkembangan penelitian secara kuantitatif dan sistematis. Bibliometrik memungkinkan analisis terhadap publikasi ilmiah berdasarkan indikator seperti jumlah publikasi, sitasi, kolaborasi penulis, serta keterkaitan antar topik melalui analisis kata kunci (*co-occurrence analysis*) (Praveen Kumar et al., 2024). Dengan menggunakan pendekatan ini, peneliti dapat mengidentifikasi tren penelitian, tema-tema dominan, serta area yang masih kurang dieksplorasi. Selain itu, visualisasi jaringan menggunakan perangkat lunak seperti VOSviewer dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai struktur dan dinamika penelitian dalam bidang hydropower.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memetakan tren perkembangan penelitian energi air (*hydropower*) serta mengidentifikasi kesenjangan ilmiah yang ada melalui pendekatan bibliometrik. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis pertumbuhan publikasi ilmiah terkait hydropower dalam periode tertentu, (2) mengidentifikasi tema-

Tema penelitian utama dan evolusinya, serta (3) mengungkap area penelitian yang masih memiliki peluang untuk dikembangkan di masa depan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memperkaya kajian ilmiah serta menjadi referensi bagi peneliti dan pembuat kebijakan dalam mengembangkan penelitian dan implementasi energi air yang lebih berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis bibliometrik untuk memetakan perkembangan penelitian serta mengidentifikasi kesenjangan ilmiah dalam bidang energi air (*hydropower*) (Siregar & Nasution, 2025). Pendekatan bibliometrik dipilih karena mampu menganalisis data publikasi ilmiah secara sistematis dan objektif berdasarkan indikator kuantitatif, seperti jumlah publikasi, sitasi, serta hubungan antar elemen penelitian. Metode ini memungkinkan peneliti untuk memahami struktur intelektual, dinamika perkembangan, serta arah penelitian di bidang hydropower secara komprehensif.

Sumber data dalam penelitian ini diperoleh dari basis data ilmiah bereputasi internasional, yaitu Scopus, yang dipilih karena memiliki cakupan publikasi yang luas dan kualitas indeksasi yang tinggi. Proses pengumpulan data dilakukan menggunakan kata kunci yang relevan, seperti “hydropower”, “water energy”, “hydroelectric power”, dan istilah terkait lainnya, dengan pencarian pada judul, abstrak, dan kata kunci (title, abstract, keywords) (Liu et al., 2025) (Verma et al., 2025). Hasil pencarian awal menghasilkan sebanyak 1.236 dokumen dalam rentang waktu 2010–2025.

Selanjutnya, dilakukan proses penyaringan (*screening*) berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Kriteria inklusi meliputi artikel ilmiah yang dipublikasikan dalam jurnal terindeks, menggunakan bahasa Inggris, dan relevan dengan topik penelitian. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup dokumen selain artikel jurnal, seperti prosiding, buku, dan editorial, serta publikasi yang tidak relevan. Setelah tahap *screening* awal, jumlah data berkurang menjadi 982 dokumen.

Tahap berikutnya adalah proses *data cleaning*, yang dilakukan untuk memastikan kualitas dan konsistensi data. Proses ini mencakup penghapusan duplikasi data, penyaringan ulang berdasarkan relevansi isi, serta normalisasi metadata seperti nama penulis, kata kunci, dan afiliasi institusi. Praktik ini sejalan dengan prosedur umum dalam analisis bibliometrik yang menekankan pentingnya pembersihan data untuk menghindari bias analisis. Setelah proses *data cleaning*, diperoleh sebanyak 915 dokumen akhir yang digunakan dalam analisis lebih lanjut menggunakan perangkat lunak Bibliometrix dan VOSviewer.

Setelah proses pengumpulan data, dilakukan tahapan seleksi data (*screening*) dan pembersihan data (*data cleaning*) untuk memastikan kualitas dataset yang digunakan. Tahapan ini meliputi penghapusan duplikasi data, normalisasi nama penulis dan institusi, serta penyaringan artikel yang tidak sesuai dengan fokus penelitian (Siegismund et al., 2025). Dataset yang telah bersih kemudian diekspor dalam format yang kompatibel untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan perangkat lunak RStudio dengan paket Bibliometrix. Penggunaan Bibliometrix memungkinkan analisis bibliometrik dilakukan secara komprehensif, termasuk pengolahan data, perhitungan indikator bibliometrik, serta visualisasi hasil analisis.

Analisis data dalam penelitian ini mencakup beberapa aspek utama, yaitu analisis tren publikasi untuk mengidentifikasi pertumbuhan jumlah publikasi dari waktu ke waktu, analisis sitasi untuk

mengetahui pengaruh dan kontribusi artikel atau penulis tertentu, serta analisis produktivitas penulis, jurnal, dan negara. Selain itu, dilakukan analisis kata kunci (*co-occurrence analysis*) untuk mengidentifikasi tema-tema penelitian utama serta hubungan antar topik dalam bidang hydropower. Analisis jaringan (*network analysis*) juga digunakan untuk memetakan kolaborasi antar penulis dan keterkaitan antar konsep penelitian.

Hasil analisis kemudian divisualisasikan dalam berbagai bentuk, seperti grafik tren publikasi, peta sebaran negara, serta jaringan (*network maps*) yang menggambarkan hubungan antar kata kunci, penulis, dan institusi (Chen et al., 2024). Visualisasi ini bertujuan untuk mempermudah interpretasi data serta memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai struktur dan dinamika penelitian dalam bidang energi air (*hydropower*). Dengan pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat memberikan pemahaman yang mendalam mengenai tren penelitian serta mengidentifikasi kesenjangan ilmiah yang dapat menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya.

Tabel 1. Desain dan Prosedur Penelitian

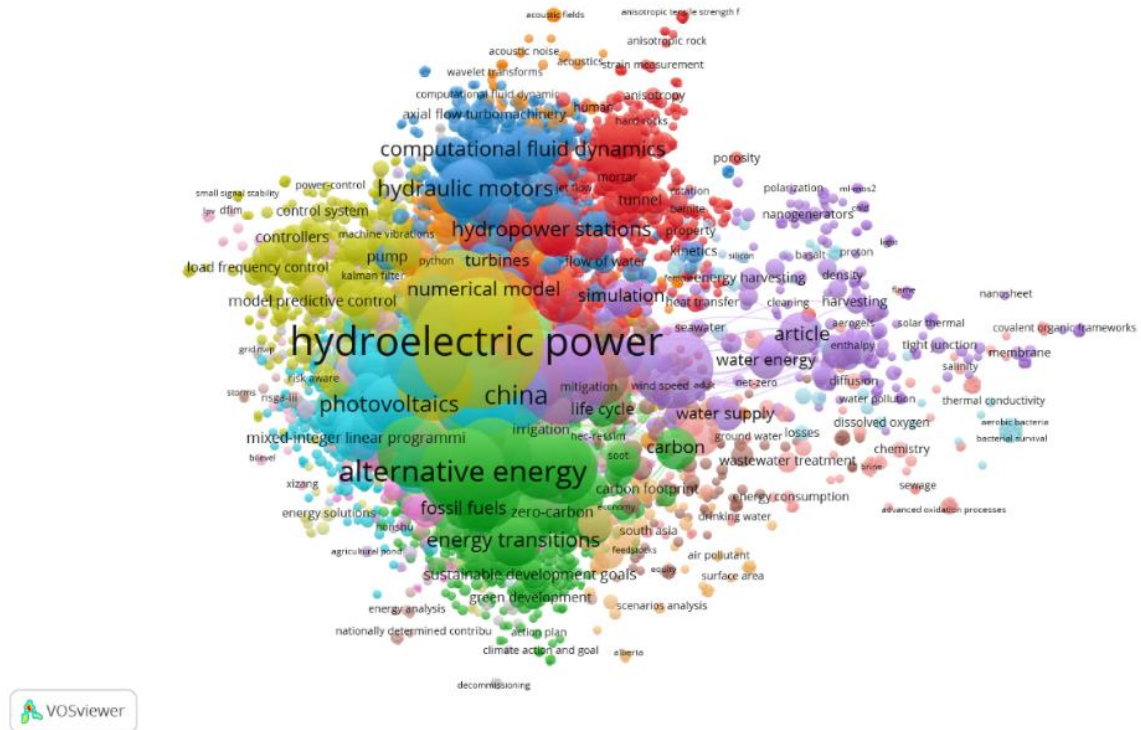
Tahapan Penelitian	Komponen	Deskripsi
Desain Penelitian	Pendekatan	Kuantitatif
	Metode	Analisis bibliometrik
	Tujuan	Memetakan tren penelitian dan mengidentifikasi kesenjangan ilmiah hydropower
Pengumpulan Data	Sumber Data	Basis data Scopus
	Kata Kunci	“hydropower”, “water energy”, “hydroelectric power”
	Bidang Pencarian	Judul, abstrak, dan kata kunci (title, abstract, keywords)
	Rentang Waktu	2010–2025
	Kriteria Inklusi	Artikel jurnal, bahasa Inggris, relevan dengan topik
	Kriteria Eksklusi	Prosiding, buku, editorial, dan artikel tidak relevan
Pengolahan Data	Screening	Seleksi awal berdasarkan relevansi
	Data Cleaning	Penghapusan duplikasi dan normalisasi data penulis/institusi
	Output Dataset	Dataset bersih siap analisis
Analisis Data	Tools	RStudio dengan paket Bibliometrix
	Analisis Utama	Tren publikasi, sitasi, produktivitas penulis, jurnal, dan negara
	Analisis Tambahan	Co-occurrence (kata kunci) dan network analysis
Visualisasi Data	Bentuk Visualisasi	Grafik tren, peta negara, dan network maps
	Tujuan	Mempermudah interpretasi dan memahami struktur penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Network Visualization (Co-occurrence Keywords)

Hasil analisis jaringan kata kunci menunjukkan bahwa “hydroelectric power” menjadi pusat utama dalam struktur penelitian, yang ditandai dengan ukuran node terbesar dan konektivitas yang tinggi

terhadap berbagai topik lainnya. Dari visualisasi tersebut, terlihat bahwa penelitian hydropower bersifat multidisipliner dan terbagi ke dalam beberapa klaster utama.



Gambar 1. Peta jaringan kata kunci (Network Visualization menggunakan VOSviewer)

Klaster teknik didominasi oleh topik seperti *computational fluid dynamics*, *turbines*, dan *numerical modeling*, yang berfokus pada efisiensi dan optimasi sistem. Klaster lain berkaitan dengan aspek infrastruktur dan geoteknik, seperti *tunnel* dan *rock mechanics*, yang menyoroti aspek konstruksi dan stabilitas. Selain itu, terdapat klaster yang mengaitkan hydropower dengan isu energi terbarukan dan keberlanjutan, seperti *energy transition* dan *carbon*, serta klaster yang berhubungan dengan sistem air dan lingkungan, seperti *water supply* dan *water pollution* (Juárez et al., 2025). Hal ini menunjukkan adanya pergeseran fokus penelitian dari aspek teknis semata menuju pendekatan yang lebih terintegrasi dengan isu lingkungan dan sistem energi.

Berdasarkan hasil visualisasi pada Gambar 1, setiap warna merepresentasikan klaster penelitian yang berbeda, yang menunjukkan pengelompokan topik berdasarkan keterkaitan kata kunci (*co-occurrence*). Klaster berwarna merah umumnya menggambarkan tema yang berkaitan dengan aspek teknis hydropower, seperti desain sistem, efisiensi turbin, dan optimasi pembangkit. Klaster berwarna hijau menunjukkan fokus pada isu lingkungan, termasuk dampak ekologis, keberlanjutan, dan pengelolaan sumber daya air.

Selanjutnya, klaster berwarna biru merepresentasikan penelitian yang berkaitan dengan kebijakan energi, transisi energi, serta integrasi hydropower dalam sistem energi modern. Sementara itu, klaster berwarna kuning mengindikasikan topik-topik yang berkembang, seperti inovasi teknologi, smart grid, dan integrasi dengan energi terbarukan lainnya.

Dengan adanya pemetaan berbasis warna ini, Gambar 1 memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai struktur tematik penelitian hydropower, serta hubungan antar topik yang membentuk klaster-klaster utama dalam bidang ini.

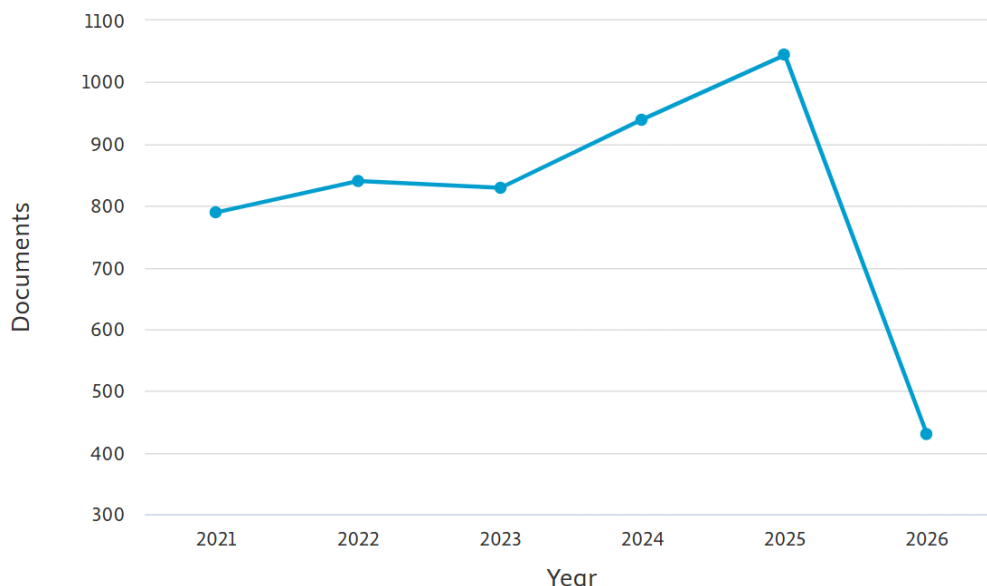
Tabel 2. Klasifikasi Klaster Penelitian Hydropower Berdasarkan Visualisasi VOSviewer

No	Warna Klaster	Fokus Utama	Kata Kunci Dominan (Contoh)	Deskripsi
1	Merah	Aspek teknis hydropower	hydropower, turbine, efficiency, optimization, power generation	Klaster ini berfokus pada penelitian teknis, termasuk desain sistem, efisiensi turbin, serta optimalisasi kinerja pembangkit listrik tenaga air.
2	Hijau	Lingkungan & keberlanjutan	sustainability, environmental impact, water resources, ecology	Klaster ini menggambarkan kajian terkait dampak lingkungan, keberlanjutan, serta pengelolaan sumber daya air dalam pengembangan hydropower.
3	Biru	Kebijakan & sistem energi	energy policy, renewable energy, energy transition, regulation	Klaster ini berkaitan dengan kebijakan energi, transisi menuju energi terbarukan, serta integrasi hydropower dalam sistem energi nasional dan global.
4	Kuning	Inovasi & teknologi baru	smart grid, hybrid system, innovation, energy integration	Klaster ini menunjukkan topik yang sedang berkembang, seperti integrasi hydropower dengan teknologi modern dan sistem energi cerdas.

Tren Publikasi

Dari aspek tren publikasi, terlihat bahwa jumlah dokumen ilmiah mengalami peningkatan yang cukup signifikan dalam kurun waktu 2021 hingga 2025. Jumlah publikasi yang awalnya berada di kisaran kurang dari 800 dokumen pada tahun 2021 meningkat secara bertahap hingga mencapai lebih dari 1000 dokumen pada tahun 2025.

Documents by year

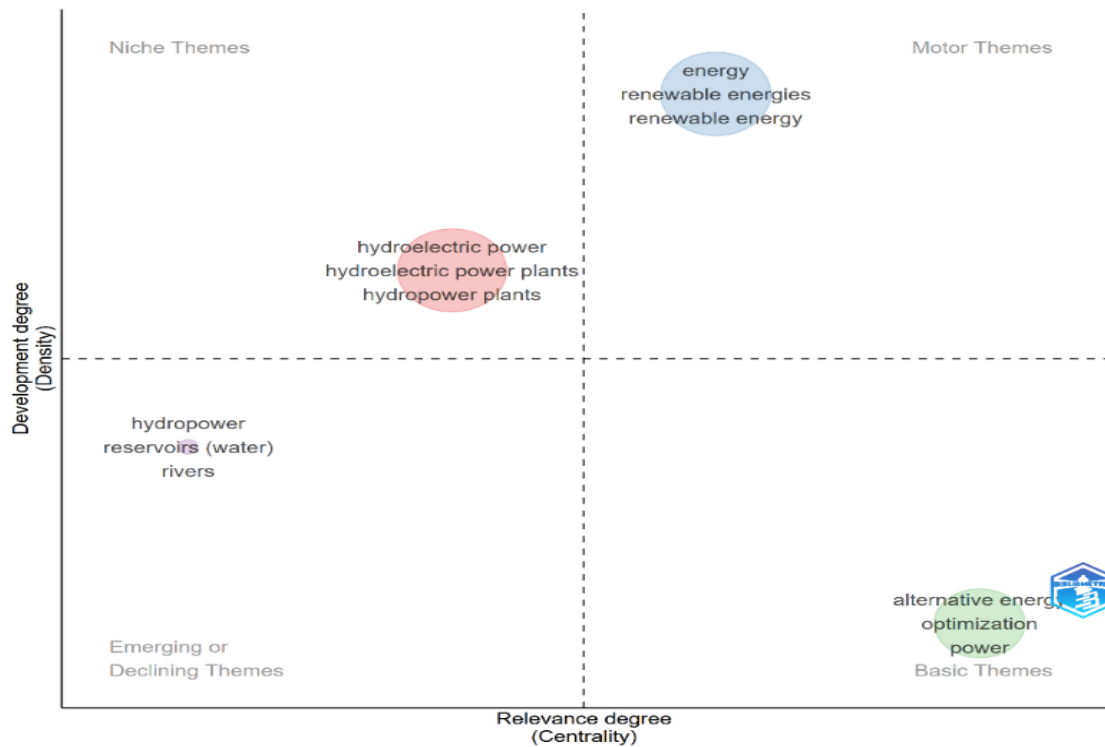


Gambar 2. Tren jumlah publikasi per tahun (2021 – 2026)

Peningkatan ini menunjukkan bahwa perhatian akademik terhadap hydropower semakin besar, terutama dalam konteks transisi energi global dan upaya mitigasi perubahan iklim. Sementara itu, penurunan jumlah publikasi pada tahun 2026 cenderung disebabkan oleh keterbatasan data yang belum terindeks secara penuh, sehingga tidak dapat diinterpretasikan sebagai penurunan minat penelitian.

Thematic Map

Analisis peta tematik memberikan pemahaman lebih lanjut mengenai posisi dan perkembangan tema penelitian. Tema yang berkaitan dengan energi dan energi terbarukan berada pada kategori *motor themes*, yang berarti memiliki tingkat kepentingan dan perkembangan yang tinggi serta menjadi penggerak utama dalam penelitian.



Gambar 3. Peta tematik penelitian (Thematic Map)

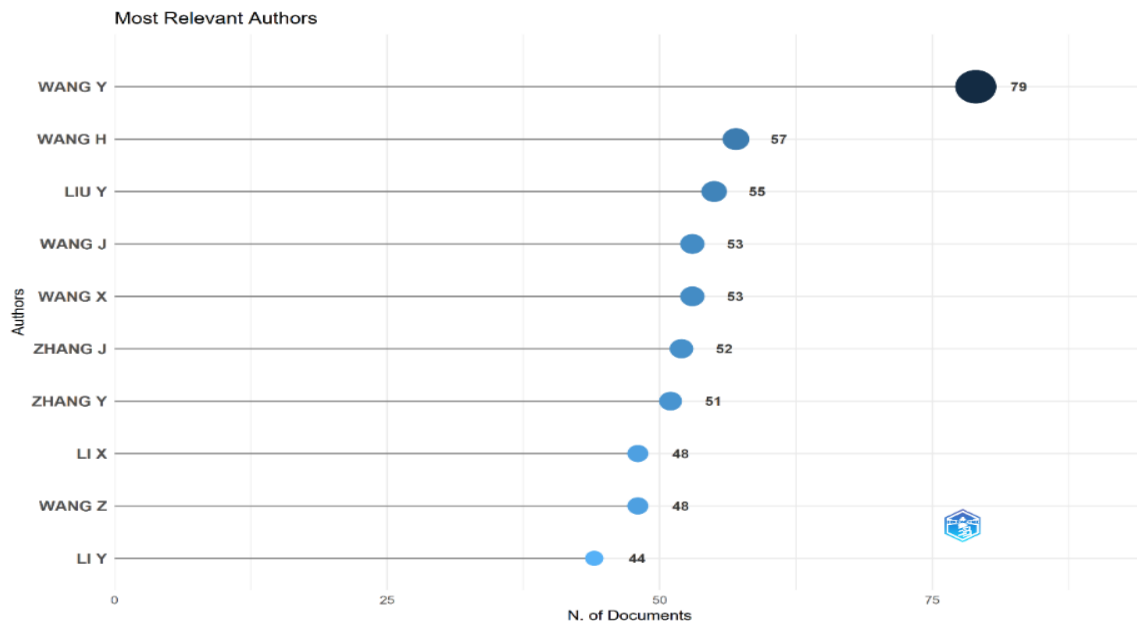
Sementara itu, tema seperti *alternative energy* dan *optimization* termasuk dalam kategori *basic themes*, yang menunjukkan bahwa tema tersebut penting namun masih memerlukan pengembangan lebih lanjut. Di sisi lain, topik seperti *hydroelectric power plants* tergolong sebagai *niche themes*, yaitu tema yang sudah berkembang dengan baik tetapi kurang terhubung dengan tema lain secara luas. Adapun topik seperti *rivers* dan *reservoirs* berada pada kategori *emerging or declining themes*, yang mengindikasikan bahwa topik tersebut mulai berkurang relevansinya atau justru menjadi area baru yang belum banyak dieksplorasi.

Tabel 3. Klasifikasi Tema Penelitian Hydropower

No	Kategori Tema	Contoh Topik	Karakteristik
1	Motor Themes	Renewable energy, energy	Tema utama, berkembang pesat
2	Basic Themes	Alternative energy, optimization	Penting tetapi belum matang
3	Niche Themes	Hydropower plants	Spesifik dan berkembang
4	Emerging/Declining Themes	Rivers, reservoirs	Tema baru atau mulai ditinggalkan

Most Relevant Authors

Dari sisi produktivitas penulis, hasil analisis menunjukkan bahwa penulis dengan kontribusi terbesar didominasi oleh peneliti dari China, seperti Wang Y, Wang H, dan Liu Y.



Gambar 4. Penulis paling produktif (Most Relevant Authors)

Dominasi ini mencerminkan kuatnya peran negara tersebut dalam pengembangan riset hydropower, baik dari segi jumlah publikasi maupun intensitas penelitian. Fenomena ini juga mengindikasikan adanya konsentrasi pengetahuan pada wilayah tertentu, yang berpotensi menimbulkan ketidakseimbangan dalam distribusi penelitian global.

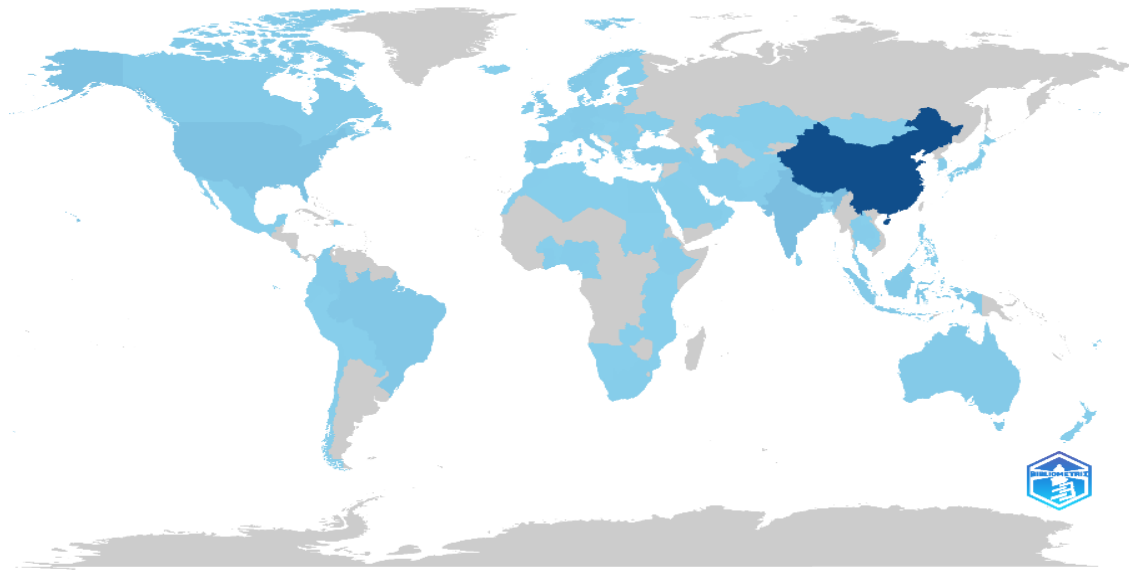
Country Scientific Production

Hal ini diperkuat oleh analisis distribusi geografis berdasarkan Gambar 5, yang menunjukkan bahwa China merupakan negara dengan kontribusi publikasi tertinggi, diikuti oleh Amerika Serikat, India, serta beberapa negara di Eropa seperti Jerman dan Inggris. Dominasi negara-negara tersebut dapat dijelaskan oleh beberapa faktor kunci. China, misalnya, memiliki investasi yang sangat besar dalam pengembangan energi terbarukan serta kapasitas pembangkit hydropower terbesar di dunia, sehingga mendorong tingginya aktivitas penelitian dan publikasi ilmiah.

Sementara itu, Amerika Serikat menunjukkan dominasi melalui kekuatan institusi akademik, kolaborasi riset internasional, serta dukungan pendanaan yang kuat dalam inovasi teknologi energi. India juga mengalami peningkatan kontribusi yang signifikan, didorong oleh kebutuhan energi domestik yang tinggi dan potensi sumber daya air yang besar. Di sisi lain, negara-negara Eropa seperti Jerman dan Inggris berperan penting melalui pendekatan berbasis kebijakan, keberlanjutan, serta integrasi hydropower dalam sistem energi rendah karbon.

Temuan ini sejalan dengan berbagai studi bibliometrik yang menunjukkan bahwa dominasi suatu negara dalam publikasi ilmiah sangat dipengaruhi oleh tingkat investasi R&D, kebijakan energi nasional, kapasitas infrastruktur penelitian, serta kebutuhan energi domestik yang mendorong fokus penelitian pada sektor tertentu.

Country Scientific Production



Gambar 5. Distribusi produksi ilmiah berdasarkan negara (Country Scientific Production)

Sebaliknya, kontribusi dari wilayah seperti Afrika dan sebagian Asia Tenggara masih relatif rendah, meskipun wilayah tersebut memiliki potensi sumber daya hydropower yang cukup besar. Ketimpangan ini menunjukkan adanya *geographical research gap* yang tidak hanya mencerminkan keterbatasan kapasitas penelitian, tetapi juga berdampak pada kurang optimalnya pemanfaatan potensi energi yang tersedia. Minimnya kontribusi ilmiah dari wilayah tersebut dapat menyebabkan keterbatasan data, kurangnya kajian kontekstual berbasis lokal, serta rendahnya inovasi teknologi yang sesuai dengan kondisi spesifik masing-masing daerah.

Lebih lanjut, kesenjangan ini juga berimplikasi pada pengambilan kebijakan yang kurang berbasis bukti (*evidence-based policy*), sehingga pengembangan hydropower berpotensi tidak efisien atau tidak berkelanjutan. Studi bibliometrik menunjukkan bahwa ketimpangan distribusi penelitian secara geografis dapat menghambat pengembangan strategi energi yang adaptif terhadap kondisi lokal, serta memperlambat pencapaian target transisi energi global, terutama di wilayah berkembang yang justru memiliki kebutuhan energi tinggi. Oleh karena itu, pengurangan kesenjangan geografis dalam penelitian menjadi penting untuk mendorong pengembangan hydropower yang lebih inklusif, berbasis lokal, dan berkelanjutan. Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan geografis dalam penelitian, yang menjadi peluang penting untuk pengembangan studi di masa depan.

Tabel 4. Distribusi Produksi Ilmiah Berdasarkan Negara

No	Negara	Tingkat Kontribusi	Karakteristik Penelitian
1	China	Sangat Tinggi	Dominasi global, riset intensif
2	United States	Tinggi	Inovasi dan teknologi
3	India	Sedang	Potensi berkembang
4	Negara Eropa	Sedang	Fokus keberlanjutan
5	Afrika & Asia Tenggara	Rendah	Potensi besar namun minim penelitian

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bidang hydropower telah berkembang secara signifikan dan mengalami pergeseran paradigma dari pendekatan teknis menuju pendekatan yang lebih holistik dan berkelanjutan. Pergeseran ini tidak terlepas dari keterkaitan antara

distribusi geografis penelitian dan kluster tematik yang terbentuk. Negara-negara dengan kontribusi publikasi tinggi seperti China, Amerika Serikat, dan negara-negara Eropa cenderung mendominasi kluster penelitian berbasis teknologi, efisiensi sistem, serta inovasi dan integrasi energi, yang mencerminkan kapasitas riset, infrastruktur, dan tingkat kemajuan teknologi yang lebih tinggi.

Sebaliknya, negara berkembang, termasuk di kawasan Asia Tenggara dan Afrika, lebih banyak terkait dengan tema aplikasi praktis, seperti pemanfaatan hydropower skala kecil, akses energi, serta pengembangan berbasis kebutuhan lokal. Pola ini menunjukkan bahwa distribusi geografis tidak hanya memengaruhi jumlah publikasi, tetapi juga arah dan karakteristik penelitian yang dilakukan. Studi bibliometrik menunjukkan bahwa negara maju cenderung mendorong inovasi teknologi dan integrasi sistem energi, sementara negara berkembang lebih fokus pada implementasi dan pemanfaatan sumber daya untuk memenuhi kebutuhan energi domestic.

Keterkaitan antara kluster tematik dan dominasi geografis ini menghasilkan struktur penelitian yang tidak merata, di mana inovasi teknologi berkembang pesat di negara maju, sementara studi berbasis aplikasi dan kebutuhan lokal berkembang di negara berkembang. Kondisi ini memberikan insight bahwa kolaborasi lintas negara menjadi penting untuk menjembatani kesenjangan tersebut, sehingga dapat mendorong pengembangan hydropower yang tidak hanya maju secara teknologi, tetapi juga relevan secara kontekstual dan berkelanjutan secara global.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa analisis bibliometrik berhasil memberikan gambaran yang komprehensif mengenai perkembangan penelitian energi air (hydropower) dalam beberapa tahun terakhir (Unni et al., 2025). Hasil analisis mengindikasikan adanya tren peningkatan jumlah publikasi secara konsisten, yang mencerminkan semakin tingginya perhatian global terhadap hydropower sebagai bagian dari transisi energi berkelanjutan. Selain itu, struktur tema penelitian menunjukkan dominasi topik-topik teknis seperti optimasi sistem, turbin, dan pemodelan numerik, yang kemudian berkembang ke arah isu yang lebih luas seperti keberlanjutan, transisi energi, dan dampak lingkungan. Pemetaan tematik juga mengungkap bahwa energi terbarukan dan efisiensi energi menjadi tema sentral yang terus berkembang, sementara beberapa tema lain masih berada pada tahap dasar maupun mulai muncul sebagai area penelitian baru.

Di sisi lain, penelitian ini juga mengidentifikasi adanya kesenjangan ilmiah yang signifikan, terutama dalam aspek geografis, integrasi lintas disiplin, serta kajian sosial dan lingkungan jangka panjang. Ketimpangan kontribusi antarnegara menunjukkan perlunya peningkatan kolaborasi global, khususnya dengan wilayah yang memiliki potensi hydropower besar namun masih kurang terwakili dalam publikasi ilmiah. Selain itu, keterbatasan penelitian terkait integrasi hydropower dengan sistem energi modern serta minimnya kajian pada skala kecil (micro dan pico hydropower) menjadi peluang penting untuk penelitian lanjutan (Thottempudi et al., 2025) (Adanta et al., 2025). Oleh karena itu, penelitian di masa depan disarankan untuk mengadopsi pendekatan interdisipliner, memperluas cakupan geografis, serta mengintegrasikan aspek teknologi, lingkungan, dan sosial guna mendukung pengembangan hydropower yang lebih berkelanjutan dan inklusif dalam kerangka energi terbarukan global.

DAFTAR PUSTAKA

- Adanta, D., Sari, D. P., Syofii, I., Ramadan, M. R., Arifin, A., & Fudholi, A. (2025). Optimization of pico-scale Turgo turbines for rural electrification: Design, performance, and applications in decentralized energy systems. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2025.101127>
- Brunissen, X., Dellinger, G., Dellinger, N., Duarte, L., Simmons, S., Terfous, A., & Ghenaim, A. (2025). Analytical model for Archimedes screw generators with rotating trough. *Journal of Hydraulic Research*, 63(3), 357–373. <https://doi.org/10.1080/00221686.2025.2491779>
- Chen, H., Chen, E., Cao, T., Feng, F., Lin, M., Wang, X., & Xu, Y. (2024). Integrative analysis of PANoptosis-related genes in diabetic retinopathy: machine learning identification and experimental validation. *Frontiers in Immunology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1486251>

- Hasrudy Siregar, Z., & Fadillah Nasution, A. (2025). Ethanol Reduces Emissions But Damages Engines? aSystematic Literature Review and Meta-Analysis ofPerformance, Emissions, and Technological Risks of 4-Stroke Motor Engines. *Jurnal Vorteks*, 06(01), 490–502. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v6i1.442>
- Juárez, S., Martín-Parra, A., Rodríguez-Rosa, D., Moya-Fernández, F., Cuadros-Tardío, R., & Gonzalez-Rodriguez, Á. G. (2025). Novel cable-driven robot for cleaning solar panels. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. <https://doi.org/10.1080/15397734.2025.2553317>
- Liu, F., Huang, W., Ma, J., He, J., Lv, C., & Yang, Y. (2025). Optimal Economic Dispatch Strategy for Cascade Hydropower Stations Considering Electric Energy and Peak Regulation Markets. *Energies*, 18(7). <https://doi.org/10.3390/en18071762>
- Praveen Kumar, P. K., Rao, M. S., Srinivas, Y., & Uriti, A. (2024). PSR-LeafNet: A Deep Learning Framework for Identifying Medicinal Plant Leaves Using Support Vector Machines. *Big Data and Cognitive Computing*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/bdcc8120176>
- Siegismund, D., Wieser, M., Heyse, S., & Steigele, S. (2025). PCIM: Learning pixel attributions via pixel-wise channel isolation mixing in high content imaging. *SLAS Discovery*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.slasd.2025.100287>
- Siregar, Z. H., & Nasution, A. F. (2025). *ELECTRICAL , AND CIVIL ENGINEERING DECONSTRUCTING THE EMPIRICAL FIXTURE UNIT METHOD : A MONTE CARLO – BASED PARADIGM FOR WATER-EFFICIENT WASTEWATER PIPING DESIGN*. 06(02), 544–556. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v6i2.480>
- Siregar, Z. H., Nasution, A. F., Fazri, M., Refiza, R., Puspita, R., Thamrin, H., & Nasution, A. S. (2024). The Effect of Fuel Mixture Composition on Gasoline. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Industri, Elektro, dan Sipil*, 05(02), 394–402. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v5i2.389>
- Siregar, Z. H., Nasution, A. F., Mawardi, Puspita, R., Refiza, Nasution, A. S., Fazri, M., & Lubis, S. S. (2025). Optimalisasi sistem plumbing hemat air di Rusun Brimob Sampali Medan: edukasi teknologi dan manajemen limbah cair. *Jurnal Derma Pengabdian Dosen Perguruan Tinggi (Jurnal DEPUTI)*, 5(1), 329–340. <https://doi.org/10.54123/deputi.v5i1.399>
- Siregar, Z. H., Siregar, R., Rigitta, P., Nurdiana, Puspita, R., Refiza, Zurairah, M., Purba, I. G., & Tanjung, J. H. S. (2024). Pengembangan aliran sungai sebagai potensi Pembangkit Listrik Mikro Hidro serta edukasi dan akulturasi di Desa Meranti Tengah Dusun Batu Rangin Kecamatan Pintu Pohan Meranti Kabupaten Tobasa. *Jurnal Derma Pengabdian Dosen Perguruan Tinggi (Jurnal DEPUTI)*, 4(1), 264–269. <https://doi.org/10.54123/deputi.v4i1.325>
- Swamy Reddy, B. K., Saxena, S., Badhulika, S., & Borse, P. H. (2025). Insight into the Optoelectronic Response of Exfoliated Bi₂Te₃–PEDOT:PSS/SnS Heterostructure-Based Self Powered Vis-NIR Photodetector. *ACS Photonics*, 12(10), 5556–5571. <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.5c01282>
- Thottempudi, P., Jambek, A. B. B., Kumar, V., Acharya, B., & Moreira, F. (2025). Resilient object detection for autonomous vehicles: Integrating deep learning and sensor fusion in adverse conditions. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.110563>
- Unni, R. P., Kesharwani, S., Samweber, N., Chaudhary, S., Tripathi, S., Kunniyoor, V., & Singh, P. (2025). Experimental study of renewable hydro powered tyre piston pumps for water supply and a case for application of similitude theory. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 239(7), 1061–1084. <https://doi.org/10.1177/09576509251345576>
- Verma, S., Chelliah, T. R., & Kumari, R. (2025). Black Start Capability of Synchronous and Asynchronous Hydro Generating Units. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 61(3), 5046–5059. <https://doi.org/10.1109/TIA.2025.3542728>
- Yildirim, R., & Mejri, S. (2026). Uncovering asymmetric energy impacts on carbon emissions and economic growth: Evidence from the U.S. energy market. *Renewable Energy*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.124941>

*RafaAdhityaDharmawangsaNasution, M Ridho Rahman Hasibuan, Hasyim Fadillah Lubis, Erza Arkan Zharif,
Muhammad Ashbar As-Silmy*

Submitted: **22/04/2026**; Revised: **27/04/2026**; Accepted: **29/04/2026**; Published: **30/06/2026**