

Analisis Perkembangan *Artificial Photosynthesis* dengan Metode Bibliometrik Database Scopus

Eikel Kanaya¹,
Ahmad Meiza²,
Akbar Haryo Wicaksono³
Mathias Nobel⁴,
Alif Safril⁵,
Nasywa Callista⁶

^{1,2,3,4,5,6}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pertahanan, Bogor, Indonesia

²Korespondensi Penulis: 22eikelkanaya@gmail.com

Article Info: Received: March 10, 2025; Accepted: June 15, 2025; Available online: November 08, 2025

DOI: 10.30588/jeemm.v9i2.2176

Abstract: *Artificial photosynthesis is one of the innovative technologies that mimics the natural photosynthesis process, aiming to convert solar energy into chemical energy that can be utilized as clean fuel. This innovative technology is regarded as a potential solution to address the energy crisis and climate change caused by high carbon dioxide (CO₂) emissions. Although artificial photosynthesis shows remarkable progress as a future energy solution, to date there has been no comprehensive bibliometric study to map the direction and potential of research in this field, hence, this study was conducted to fill the research gap. This study aims to analyze the development of research in artificial photosynthesis as a sustainable energy solution through a bibliometric approach based on the Scopus database for the period 2004–2024. The study utilized Biblioshiny and VOSviewer software, followed by analysis of publication trends, international collaborations, main keywords, institutional affiliations, as well as author impact based on the H-Index. The results of this study reveal a significant increase in the number of publications with an average annual growth of 5.37%. China, the United States, and Japan are recorded as the most active countries in publishing and collaborating research on artificial photosynthesis. This study also identifies dominant keywords and thematic trends reflecting research focuses on renewable energy, catalyst technology, and CO₂ emission reduction. The findings of this study are expected to serve as a strategic reference for the development of further research in the field of clean energy based on artificial photosynthesis.*

Keywords: *Artificial photosynthesis , CO₂ emissions, Sustainable energy, Bibliometric analysis.*

Abstrak: *Artificial photosynthesis (fotosintesis buatan) adalah salah satu teknologi inovatif yang prosesnya meniru fotosintesis alami, yaitu untuk mengubah energi matahari menjadi energi kimia yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar bersih. Teknologi inovatif ini dipandang sebagai solusi yang potensial untuk mengatasi krisis energi dan perubahan iklim akibat tingginya emisi karbon dioksida (CO₂). Meskipun topik *artificial photosynthesis* menunjukkan perkembangan yang luar biasa sebagai solusi energi masa depan, hingga kini belum tersedia kajian bibliometrik yang komprehensif untuk memetakan arah dan potensi riset di bidang ini, sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengisi *research gap* tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa perkembangan riset di bidang *artificial photosynthesis* sebagai solusi energi berkelanjutan melalui pendekatan bibliometrik dengan basis data Scopus pada periode 2004–2024. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak Biblioshiny dan VOSviewer, yang kemudian dilakukan analisa terhadap tren publikasi, kolaborasi internasional, kata kunci utama, afiliasi institusi, serta dampak penulis berdasarkan H-Index. Hasil dari penelitian ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam jumlah publikasi dengan peningkatan rata-rata 5,37% per tahun. Tiongkok, Amerika Serikat, dan Jepang tercatat sebagai negara yang paling aktif dalam publikasi dan kolaborasi penelitian mengenai *artificial photosynthesis*. Penelitian ini juga mengidentifikasi kata kunci dominan dan tren tematik yang mencerminkan fokus penelitian pada energi terbarukan, teknologi katalis, serta pengurangan emisi CO₂. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan strategis dalam pengembangan riset lanjutan di bidang energi bersih berbasis fotosintesis buatan.*

Kata Kunci: *Artificial photosynthesis, Emisi CO₂ , Energi berkelanjutan, Bibliometric analysis*

I. Pendahuluan

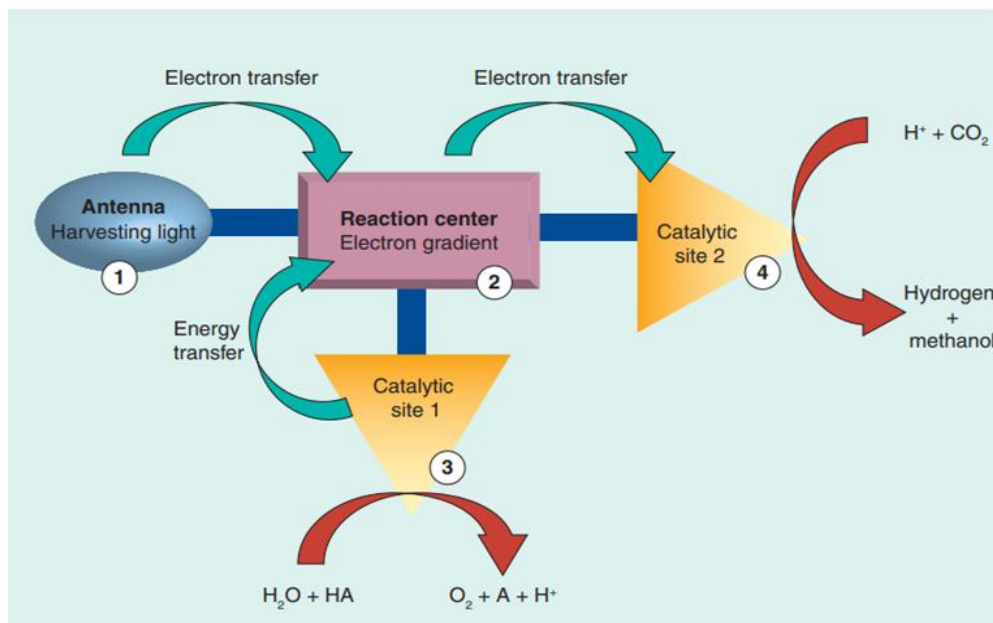
Pemanasan global merupakan isu krusial yang tidak dapat dipandang sebagai sesuatu yang imajiner atau fiktif. Di Indonesia, masalah ini telah berkembang menjadi persoalan serius yang memerlukan perhatian mendalam. Penelitian selama dua abad terakhir telah mengangkat isu pemanasan global menjadi fokus utama dalam kebijakan publik (Wang, Wang, Li, & Wang, 2023). Selain itu, Indonesia menghadapi tantangan lingkungan yang diperparah oleh tingginya jejak ekologis, yakni indikator dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Indonesia berada dalam kondisi bio-defisit, yang berarti konsumsi sumber daya alamnya melebihi kapasitas regenerasi biologisnya, menempatkannya sebagai salah satu dari sepuluh negara dengan jejak ekologis tertinggi di dunia (Pirmana, Alisjahbana, Yusuf, Hoekstra, & Tukker, 2021).

Selain itu, Indonesia menghadapi tantangan lingkungan yang diperparah oleh tingginya jejak ekologis, yakni indikator dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Indonesia berada dalam kondisi bio-defisit, yang berarti konsumsi sumber daya alamnya melebihi kapasitas regenerasi biologisnya, menempatkannya sebagai salah satu dari sepuluh negara dengan jejak ekologis tertinggi di dunia ("Enhancing Indones. Power Syst.," 2022). Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi energi ramah lingkungan sebagai alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, dan hidroelektrik menghasilkan emisi gas rumah kaca yang jauh lebih rendah dan sangat penting dalam pengurangan emisi global. Salah satu teknologi yang menjanjikan adalah *artificial photosynthesis*, yang meniru proses fotosintesis alami untuk menghasilkan hidrogen dan energi listrik secara berkelanjutan.

Artificial photosynthesis adalah teknologi inovatif yang meniru proses fotosintesis alami, di mana tanaman mengubah sinar matahari, karbon dioksida, dan air menjadi energi kimia dalam bentuk glukosa dan oksigen (Mori, Hashimoto, & Hisatomi, 2025). Teknologi ini berupaya memanfaatkan energi surya untuk menghasilkan bahan bakar yang dapat disimpan dan didistribusikan, seperti hidrogen dan hidrokarbon, sebagai solusi untuk tantangan keberlanjutan energi dan perubahan iklim. Prinsip dasar *artificial photosynthesis* adalah meniru mekanisme penangkapan cahaya dan konversi energi pada fotosintesis alami dengan menggunakan berbagai bahan dan katalis yang mendukung efisiensi proses ini (Gibbons, Cai, & Morris, 2022; Yildirim et al., n.d.).

Berbeda dengan fotosintesis alami, *artificial photosynthesis* memiliki efisiensi konversi energi yang lebih tinggi, mencapai sekitar 10%, bahkan beberapa di antaranya melebihi 20% (Zhang et al., 2024). Berbagai strategi untuk meningkatkan efisiensi meliputi peningkatan transportasi dan penyerapan muatan, serta aktivasi kinetika adsorpsi dan reduksi (Degerli, Gramegna, Tommasi, Ramis, & Rossetti, 2024). Contohnya, elektroreduksi CO₂ menjadi CO dengan sel surya fotovoltaik perovskit, serta penggunaan biosintesis pemisah air dengan sistem katalis anorganik yang biokompatibel telah mencapai efisiensi pengurangan CO₂ sebesar 50% (He, Zheng, & Mohammadi, 2023; Li et al., 2020). Penambahan agcocatalyst dan NaHCO₃ juga terbukti meningkatkan reduksi fotokatalitik CO₂ secara efisien (Yoshino, Takayama, Yamaguchi, Iwase, & Kudo, 2022).

Artificial photosynthesis terdiri dari empat tahap reaksi utama: pertama, penangkapan atau pengonsentrasian cahaya; kedua, pemisahan muatan melintasi membran seperti pusat reaksi alami; ketiga, oksidasi air menggunakan muatan positif; dan keempat, reaksi kimia reduktif yang menghasilkan bahan bakar menggunakan muatan negatif. Proses ini bergantung pada pasokan elektron yang memadai, dengan air sebagai sumber elektron yang paling melimpah dan mudah diakses (Machín, Cotto, Ducongé, & Márquez, 2023). Rangkaian seluruh reaksi fotosintesis digambarkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Deskripsi skematis yang menunjukkan prinsip artificial photosynthesis.
Sumber: doi.org/10.1007/978-3-319-13800-8_2

Penelitian ini bertujuan menyajikan analisis bibliometrik pertama mengenai artificial photosynthesis dengan menggunakan data jurnal terindeks Scopus selama sepuluh tahun terakhir. Hasilnya diharapkan dapat menjadi acuan penting bagi para peneliti untuk memahami tren dan perkembangan riset di bidang ini serta mempersempit fokus penelitian mereka.

Analisis bibliometrik adalah analisis yang memberikan wawasan mendetail dari berbagai aspek. Analisis ini memiliki beberapa indikator seperti faktor dampak, H-Index, dan indikator lainnya yang membantu peneliti untuk melihat tren suatu penelitian dan perkembangannya dalam lingkungan akademis dan dampaknya pada komunikasi ilmiah (Ansorge, 2024).

Analisis bibliometrik mengungkapkan pola dalam publikasi dan kutipan, seperti prevalensi artikel yang ditulis oleh banyak penulis dan jenis sumber yang paling sering dikutip (Ninkov, Frank, & Maggio, 2022). Analisis jurnal dari waktu ke waktu memberikan informasi mengenai pengembangan dan tren pada bidang penelitian tertentu yang dapat membantu peneliti mengidentifikasi jurnal target untuk penelitian mereka. Dengan analisis ini, peneliti terutama bertujuan untuk mengenali, mengevaluasi, dan memahami literatur (atau bagian dari literatur) dalam bidang penelitian tertentu (Öztürk, Kocaman, & Kanbach, 2024).

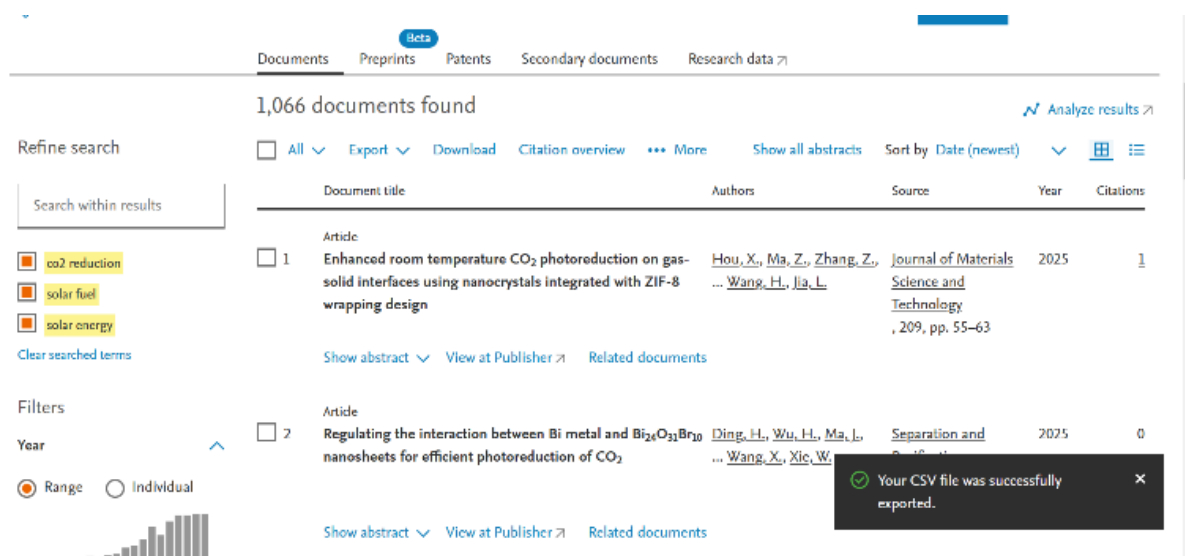
II. METODE PENELITIAN

1. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis bibliometrik berdasarkan publikasi terkait artificial photosynthesis pada rentang tahun 2015-2024. Literatur dari basis data Scopus dengan kata kunci CO₂ reduction menghasilkan 1.243 dokumen terkait. Kemudian batasan ditambahkan dengan kata kunci Solar Fuel yang menghasilkan 1.074 dokumen terkait.

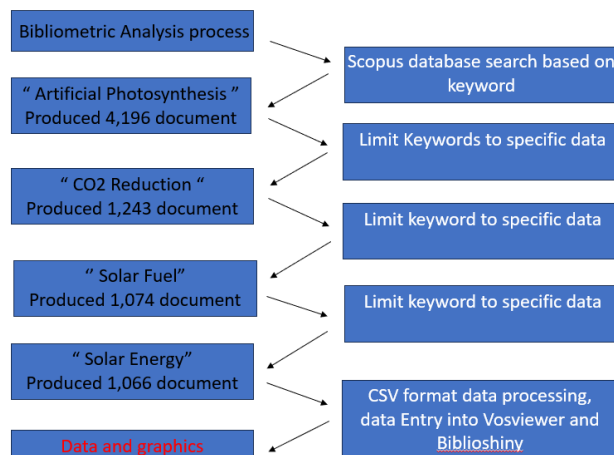
Kata kunci terakhir adalah Solar Energy yang menghasilkan 1.066 dokumen terkait seperti yang tertera pada gambar 3. Kemudian dokumen-dokumen tersebut diproses dalam format CSV. Format CSV (Comma Separates Values) adalah format yang biasa digunakan untuk menyimpan data tabular, seperti spreadsheet atau database. Artikel dari data scopus dalam format CSV disimpan dalam excel yang akan digunakan untuk analisis melalui Biblioshny dan VOSviewer.

Analisis bibliometrik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Biblioshiny yang terintegrasi dengan Rstudio dan VOSviewer untuk menghasilkan representasi grafis dari data.



Gambar 2. Kolektif data pada database Scopus pada 2015-2024.

Gambar 3 berikut ini adalah ilustrasi diagram alir untuk keseluruhan proses analisis bibliometrik.



Gambar 3. Diagram alir penelitian.
Sumber: diolah penulis

III. HASIL DAN ANALISIS

1. Hasil Umum Biblioshiny

Kumpulan informasi terkait publikasi literatur dari tahun 2004 hingga 2024 dijelaskan pada Tabel 1. 1.066 literatur diperoleh dari 344 sumber, termasuk jurnal dan buku. Pertumbuhan publikasi literatur dengan kata kunci artificial photosynthesis sekitar 5,37% per tahun, dengan jumlah kutipan rata-rata 72,44 per publikasi. Sementara itu, jumlah referensi yang digunakan dalam 1.066 publikasi ini adalah 75.770 dokumen.

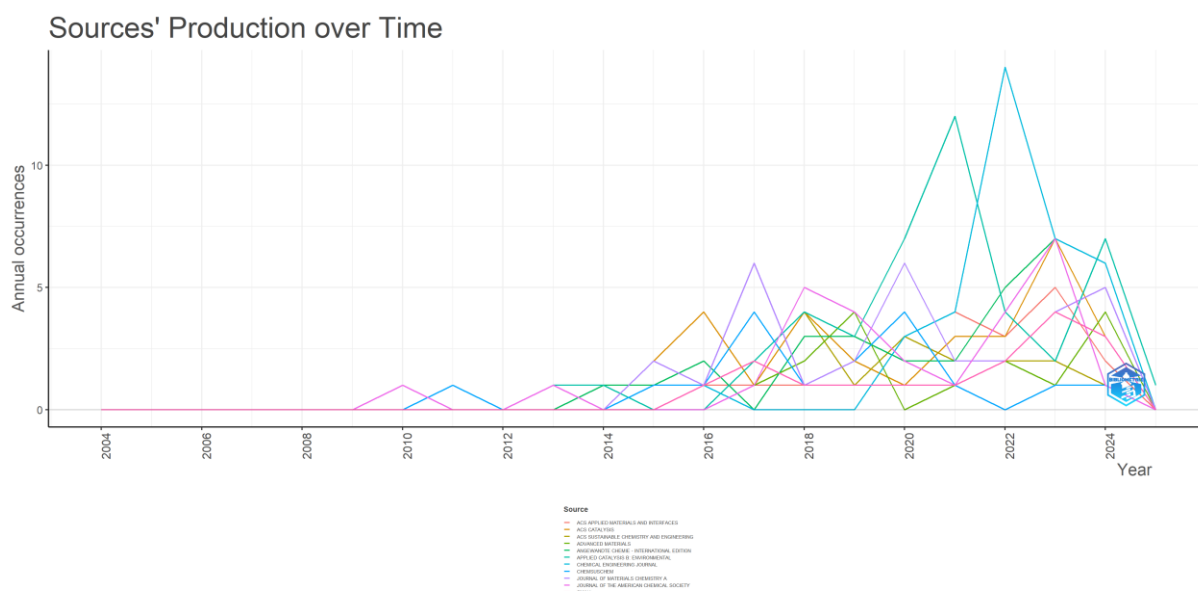
Tabel 1. Informasi dasar dari Biblioshiny
Sumber: Teknik Mesin Unhan RI (data pribadi)

Description	Result
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	2004:2024
Sources (Journal, Books, etc.)	344
Documents	1066
Annual Growth Rate %	5.37
Document Average Age	3.78
Average citations per doc	72.44

References	75770
DOCUMENT CONTENTS	
Keyword Plus (ID)	5251
Author's Keywords (DE)	1979
AUTHORS	
Authors	3200
Authors of single-authored docs	31
AUTHOR OF COLLABORATION	
Single-authored docs	37
Co-Authors per Docs	5.88
International co-Authorship %	28.33
DOCUMENT TYPES	
Article	732
Book	3
Book chapter	53
Conference paper	22
Conference review	1
Editorial	2
Note	2
Review	247
Short survey	4

2. Analisis Perkembangan Penelitian

Analisis pengembangan penelitian tentang artificial photosynthesis bertujuan untuk mengamati tren penelitian selama 10 tahun terakhir. Frekuensi sebuah penelitian dikutip menunjukkan seberapa sering karya tersebut menjadi topik diskusi di antara para peneliti.

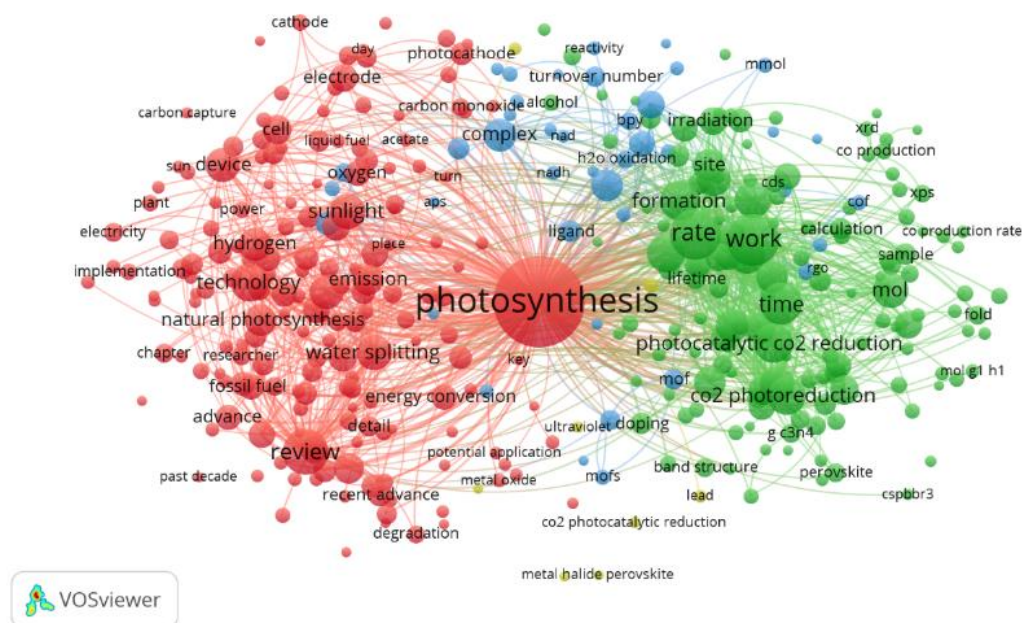


Gambar 4. Analisis Pengembangan Penelitian.

Sumber: Teknik Mesin Unhan RI (data pribadi)

Gambar 4 di atas merupakan grafik yang menunjukkan bahwa tren kenaikan mengenai kata kunci artificial photosynthesis dimulai pada tahun 2012, menunjukkan peningkatan aktivitas penelitian di bidang yang dibahas. Puncak publikasi artificial photosynthesis terjadi pada tahun 2020, mencapai sepuluh publikasi tahunan. Setelah tahun 2020, tren tersebut berlanjut hingga tahun 2022. Pada tahun 2023, ada sedikit penurunan, tetapi kembali naik pada tahun 2024.

3. Analisis VOSviewer



Sumber: Teknik Mesin Unhan RI (data pribadi)

Kata kunci berwarna hijau menunjukkan penelitian yang difokuskan pada pengurangan emisi CO₂ melalui proses photocatalytic, seperti photocatalytic CO₂ reduction. Berikutnya, kata kunci berwarna biru berfokus pada penelitian yang terkait dengan reaksi kimia mendalam dalam artificial photosynthesis, seperti complex, oxidation, dan ligand.

Selanjutnya, ada ukuran simpul yang menunjukkan tingkat popularitas, seperti kata sunlight, rate, dan work, yang berarti kata-kata ini sering muncul dan memainkan peran penting dalam topik fotosintesis dan energi terbarukan. Secara keseluruhan, gambar di atas menunjukkan hubungan dan berfokus pada pengembangan teknologi berbasis fotosintesis untuk energi terbarukan

Beberapa kalangan menganggap H-Index sebagai alat ukur produktivitas jurnal meskipun masih sering diperdebatkan.

H-Index membandingkan jumlah publikasi dan jumlah sitasi, di mana ada ambang batas minimum tertentu. Misalnya, indeks H 5 menunjukkan setidaknya lima publikasi dan setidaknya lima sitasi untuk setiap artikel yang diterbitkan. Dengan kata lain, meskipun artikel dikutip 10 kali, jika hanya lima artikel yang diterbitkan, H-Index tetap 5. Sebaliknya, jika sepuluh artikel diterbitkan tetapi masing-masing hanya dikutip 5 kali, H-Index maksimal 5. Dengan demikian, ini merupakan ukuran yang seimbang antara jumlah sitasi dan produktivitas artikel. H-Index yang tinggi belum tentu mencerminkan kualitas jurnal yang baik. Namun, H-Index yang tinggi menunjukkan visibilitas dan keakraban artikel dari jurnal tersebut dalam bidang ilmu pengetahuan yang relevan.

Tabel 2. Dampak penulis dari h-index
Sumber: Teknik Mesin Unhan RI (data pribadi)

Author	H-Index
Wang X.	2
Wang J.	21
Liu J.	20
Li Y.	17
Wang Y.	17
Wang Z.	17
Zhang X.	17
Liu Y.	16
Ishitani O.	15
Liu J.	15

5. Afiliasi Paling Relevan

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, dengan 148 publikasi, Universitas Fazhou merupakan afiliasi yang paling banyak dilakukan terkait dengan artificial photosynthesis. Kemudian diikuti dengan Universitas Teknologi Tianjin dengan 131 publikasi, diikuti oleh Sekolah Teknik dan Ilmu Material dengan 54 publikasi di posisi ke-10.

Berdasarkan data dari Tabel 3, afiliasi terkait penelitian artificial photosynthesis merupakan universitas yang berasal dari Tiongkok yang menduduki peringkat 5 teratas. Dari data ini, peneliti selanjutnya dapat melihat tren afiliasi yang berfokus pada topik artificial photosynthesis. Setelah diduduki oleh universitas-universitas dari Tiongkok, Amerika Serikat menyusul melalui Universitas California dengan publikasi sebanyak 60 literatur. Data ini dapat digunakan oleh peneliti selanjutnya untuk mengetahui negara yang memiliki fokus pada inovasi artificial photosynthesis sehingga dapat bekerja sama dengan afiliasi dari negara terkait.

Tabel 3. Afiliasi Paling Relevan
Sumber: Teknik Mesin Unhan RI (data pribadi)

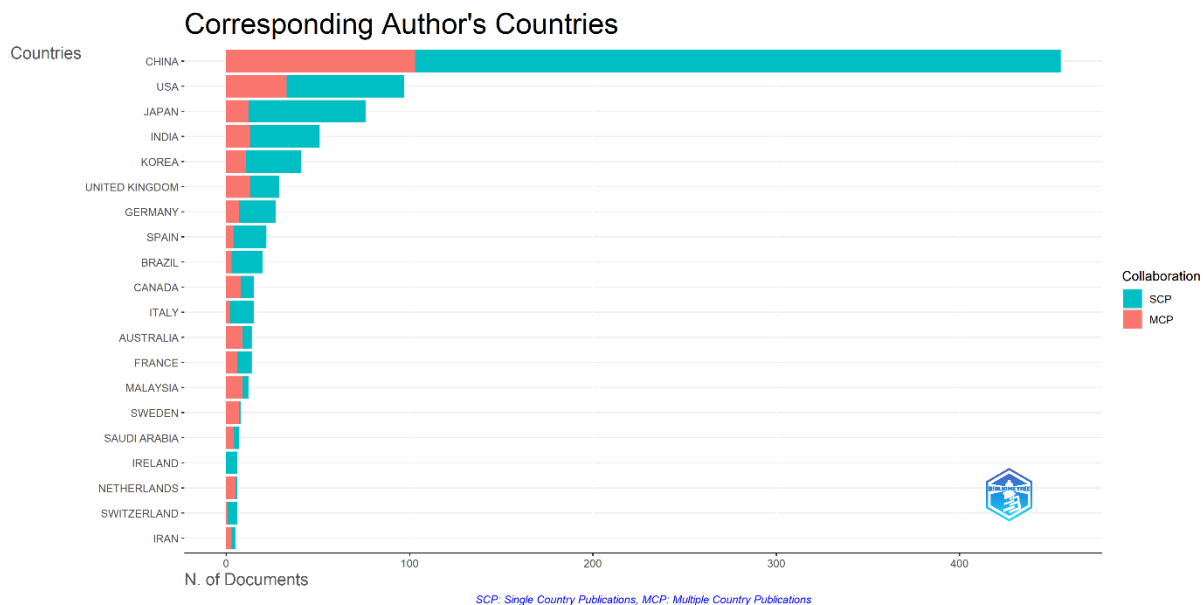
Affiliations	Literature
Fazhou University	148
Tianjin University of Technology	131
Beijing University	99
Nanjing University	94
Jiangsu University	91
School of Science	81
Tianjin University	73
Nanjing University of Science and Technology	71
University of California	60
School of Materials Science and Engineering	54

6. Negara Penulis Terkait

Berdasarkan Gambar 6, ditampilkan data mengenai negara-negara yang paling produktif dalam menerbitkan penelitian terkait artificial photosynthesis. Gambar tersebut menunjukkan bahwa Tiongkok merupakan negara paling produktif dalam menerbitkan penelitian ini dengan lebih dari 400 artikel, diikuti oleh Amerika Serikat, dengan sekitar 90 artikel, dan Jepang, di urutan ketiga dengan sekitar 80

artikel. Diikuti oleh negara-negara seperti India, Korea Selatan, Inggris, Jerman, Spanyol, Brasil, dan 11 negara lainnya.

Pada gambar tersebut, terdapat pula anotasi yang menunjukkan SCP, yang menunjukkan kolaborasi domestik yang lebih dominan, dan MCP, yang menunjukkan kolaborasi internasional yang lebih dominan.



Gambar 6. Negara Penulis Terkait
Sumber: Teknik Mesin Unhan RI (dokumen pribadi)

IV. KESIMPULAN

Penelitian di bidang artificial photosynthesis berfokus pada solusi energi berkelanjutan untuk mengatasi perubahan iklim dan pemanasan global yang disebabkan oleh emisi CO₂. Sejak tahun 2012, penelitian artificial photosynthesis terus berkembang dengan peningkatan publikasi tahunan sebesar 5,37%, yang mencapai puncaknya pada tahun 2020.

Penelitian ini berfokus pada pengurangan CO₂ melalui energi surya, produksi hidrogen, dan fotokatalisis. Analisis H-Index menunjukkan pengaruh yang kuat dari komunitas ilmiah, khususnya dari lembaga penelitian di Tiongkok, Amerika Serikat, dan Jepang, dengan Universitas Fuzhou, Universitas Sains dan Teknologi Tianjin, dan Universitas Peking yang berkinerja terbaik.

Artificial photosynthesis diharapkan menjadi solusi energi bersih yang dapat secara signifikan mengurangi emisi CO₂ di masa mendatang. Selain itu, penelitian ini telah menerima pendanaan yang signifikan dari lembaga-lembaga terkemuka di Tiongkok, Amerika Serikat, dan Jepang untuk mempromosikan pengembangan teknologi artificial photosynthesis. Secara keseluruhan, penelitian di bidang "Fotosintesis Buatan" berkembang pesat dan memiliki potensi besar sebagai solusi energi baru dan berkelanjutan, sehingga menarik perhatian berbagai pihak.

Dengan hadirnya penelitian ini sebagai pelopor dalam analisis bibliometrik pada topik artificial photosynthesis, kami sebagai penulis sangat mengharapkan adanya penelitian sejenis yang dapat semakin melengkapi cakupan analisis kami. Kami sebagai penulis juga sangat berharap agar hasil analisis ini dapat membantu keberlangsungan penelitian dan kajian tentang artificial photosynthesis di masa mendatang, memberikan banyak ide dan kemudahan dalam pencarian serta eksekusi ide-ide baru.

Daftar Pustaka

- Ansorge, L. (2024). *Bibliometric Studies as a Publication Strategy Bibliometric Studies as a Publication Strategy*. (November). <https://doi.org/10.3390/metrics1010005>
- Degerli, S. N., Gramegna, A., Tommasi, M., Ramis, G., & Rossetti, I. (2024). Reactor and Plant Designs for the Solar Photosynthesis of Fuels. *Energies*, 17(13). <https://doi.org/10.3390/en17133112>

- Enhancing Indonesia's Power System. (2022). *Enhancing Indonesia's Power System*. <https://doi.org/10.1787/13a0321c-en>
- Gibbons, B., Cai, M., & Morris, A. J. (2022). *A Potential Roadmap to Integrated Metal Organic Framework Artificial Photosynthetic Arrays*. <https://doi.org/10.1021/jacs.2c04144>
- He, K., Zheng, C., & Mohammadi, S. (2023). High efficient perovskite solar cells enhancement via photosystem I proteins. *Optical Materials*, 137(December 2021), 113566. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.113566>
- Li, X., Zhao, L., Yu, J., Liu, X., Zhang, X., Liu, H., & Zhou, W. (2020). Water Splitting: From Electrode to Green Energy System. *Nano-Micro Letters*, 12(1), 1–29. <https://doi.org/10.1007/s40820-020-00469-3>
- Machín, A., Cotto, M., Ducongé, J., & Márquez, F. (2023). Artificial Photosynthesis: Current Advancements and Future Prospects. *Biomimetics*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/biomimetics8030298>
- Mori, S., Hashimoto, R., & Hisatomi, T. (2025). Artificial photosynthesis directed toward organic synthesis. *Nature Communications*, (September 2024), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56374-z>
- Ninkov, A., Frank, J. R., & Maggio, L. A. (2022). Bibliometrics: Methods for studying academic publishing. *Perspectives on Medical Education*, 11(3), 173–176. <https://doi.org/10.1007/s40037-021-00695-4>
- Öztürk, O., Kocaman, R., & Kanbach, D. K. (2024). How to design bibliometric research: an overview and a framework proposal. *Review of Managerial Science*, 18(11), 3333–3361. <https://doi.org/10.1007/s11846-024-00738-0>
- Pirmana, V., Alisjahbana, A. S., Yusuf, A. A., Hoekstra, R., & Tukker, A. (2021). Environmental Cost in Indonesia Spillover Effect Between Consumption and Production. *Frontiers in Sustainability*, 2(September 2015). <https://doi.org/10.3389/frsus.2021.720177>
- Wang, L., Wang, L., Li, Y., & Wang, J. (2023). A century-long analysis of global warming and earth temperature using a random walk with drift approach. *Decision Analytics Journal*, 7(April), 100237. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100237>
- Yildirim, O., Bonomo, M., Barbero, N., Atzori, C., Civalleri, B., Bonino, F., ... Barolo, C. (n.d.). *Application of Metal-Organic Frameworks and Covalent Organic Frameworks as (Photo) Active Material in Hybrid Photovoltaic Technologies*.
- Yoshino, S., Takayama, T., Yamaguchi, Y., Iwase, A., & Kudo, A. (2022). CO₂ Reduction Using Water as an Electron Donor over Heterogeneous Photocatalysts Aiming at Artificial Photosynthesis. *Accounts of Chemical Research*, 55(7), 966–977. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.1c00676>
- Zhang, Y., Gao, C., Ren, H., Luo, P., Wan, Q., Zhou, H., ... Zhang, X. (2024). Efficient Photosynthesis of Value-Added Chemicals by Electrocarboxylation of Bromobenzene with CO₂ Using a Solar Energy Conversion Device. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(19). <https://doi.org/10.3390/ijms251910608>