

Tren dan Research Gap Life Cycle Cost Analysis pada Teknologi Energi Terbarukan: Systematic Literature Review

Andika Dwiputra

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Al-Azhar Medan
Corresponding e-mail: dwiputraa185@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze research trends and identify research gaps in the application of Life Cycle Cost Analysis (LCCA) in renewable energy technologies through a Systematic Literature Review (SLR) approach based on the PRISMA framework. In contrast to previous studies that primarily focused on trend mapping, this research incorporates a critical analysis of methodological gaps, particularly regarding inconsistencies in economic parameters and the lack of integration of uncertainty analysis. The data were obtained from Scopus, ScienceDirect, IEEE Xplore, and Google Scholar, covering the publication period from 2015 to 2025, resulting in approximately 30–40 selected articles. The findings indicate that the research is dominated by solar photovoltaic technologies, while studies on biomass and hybrid systems remain limited. In addition, a lack of standardization in LCCA methodologies and minimal application of probabilistic approaches were identified. This study contributes by providing a more critical mapping of research gaps, which serves as a foundation for the development of a more standardized and comprehensive LCCA methodology in future research.

Keywords: *Life Cycle Cost Analysis (LCCA), renewable energy, systematic literature review, PRISMA, bibliometric analysis, VOSviewer, research gap, energy transition*

A. PENDAHULUAN

Transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan menjadi fokus utama dalam pengembangan teknologi ketenagalistrikan global. Peningkatan kebutuhan energi, keterbatasan sumber daya fosil, serta tekanan terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca mendorong percepatan implementasi teknologi energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, biomassa, dan hidro kecil (Haegel and Kurtz 2022). Dalam konteks ini, pemilihan teknologi tidak lagi hanya didasarkan pada efisiensi teknis, tetapi juga pada aspek ekonomi jangka panjang yang mampu menggambarkan total biaya sepanjang siklus hidup sistem (He et al. 2023).

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi teknologi energi terbarukan adalah Life Cycle Cost Analysis (LCCA). Metode ini

memungkinkan analisis menyeluruh terhadap seluruh biaya yang muncul sejak tahap perencanaan, pengadaan, instalasi, operasi, pemeliharaan, hingga akhir masa pakai sistem. Dengan demikian, LCCA memberikan gambaran yang lebih komprehensif dibandingkan analisis biaya awal (initial cost) semata, sehingga sangat relevan dalam pengambilan keputusan investasi teknologi energi.

Meskipun LCCA telah banyak diterapkan dalam berbagai studi energi terbarukan, perkembangan penelitian menunjukkan adanya variasi pendekatan metodologis, asumsi parameter biaya, serta batasan sistem yang dianalisis. Beberapa studi masih berfokus pada satu jenis teknologi secara terpisah, sementara studi lainnya menggabungkan beberapa sistem tanpa standar metodologi yang seragam (Zakrisson, Azzi, and Sundberg 2023). Kondisi ini menyebabkan adanya inkonsistensi hasil serta kesulitan dalam melakukan perbandingan antar teknologi maupun antar wilayah studi.

Selain itu, perkembangan teknologi energi terbarukan yang sangat cepat, termasuk penurunan biaya komponen seperti panel surya dan baterai penyimpanan energi, turut mempengaruhi dinamika hasil analisis LCCA dari waktu ke waktu. Namun, belum banyak kajian yang secara sistematis memetakan bagaimana tren metodologi LCCA berkembang, serta sejauh mana research gap masih terbuka dalam literatur yang ada, khususnya terkait integrasi faktor teknis, ekonomi, dan keberlanjutan (Amoruso and Schuetze 2023).

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu kajian literatur sistematis untuk mengidentifikasi pola penelitian, tren metodologi, serta kesenjangan penelitian (research gap) dalam penerapan Life Cycle Cost Analysis pada teknologi energi terbarukan (Lee 2021). Studi ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai arah perkembangan riset, sekaligus menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang lebih terstandarisasi dan relevan dengan perkembangan teknologi saat ini.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya memetakan tren publikasi LCCA secara deskriptif, penelitian ini juga melakukan analisis kritis terhadap kesenjangan metodologis. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi systematic literature review, bibliometric analysis, dan evaluasi research gap secara simultan sehingga tidak hanya bersifat deskriptif tetapi juga evaluatif.

B. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) untuk mengidentifikasi tren penelitian dan research gap dalam penerapan Life Cycle Cost Analysis (LCCA) pada teknologi energi terbarukan. SLR dipilih karena mampu memberikan sintesis yang sistematis, transparan, dan replikatif terhadap literatur ilmiah yang relevan, sehingga dapat menghasilkan pemetaan perkembangan penelitian secara komprehensif (Kemeç and Altınay 2023).

Proses SLR dalam penelitian ini mengikuti alur yang mengacu pada pendekatan PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), yang terdiri dari beberapa tahap utama, yaitu identifikasi (Khamis and Aassouli 2023),

NOZEL, Volume 09 Nomor 01, Februari 2027, 1 – 13

<https://doi.org/10.20961/nozel.v1i1.122463>

penyaringan (screening), kelayakan (eligibility), dan inklusi studi. Tahap identifikasi dilakukan dengan penelusuran artikel ilmiah melalui basis data akademik seperti Scopus, ScienceDirect, IEEE Xplore, dan Google Scholar menggunakan kata kunci utama seperti “Life Cycle Cost Analysis”, “LCCA”, “renewable energy”, “solar energy cost analysis”, serta kombinasi kata kunci terkait lainnya.

Pada tahap screening, artikel yang diperoleh diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel ilmiah yang membahas LCCA pada teknologi energi terbarukan, (2) publikasi dalam rentang waktu tertentu (misalnya 2015–2025 untuk menangkap tren terkini), (3) artikel berbahasa Inggris atau Indonesia, serta (4) artikel yang dapat diakses secara penuh (full text) (Seminario-Córdova and Rojas-Ortega 2023). Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup artikel yang tidak berfokus pada aspek biaya siklus hidup, artikel review non-sistematis, serta publikasi yang tidak relevan dengan sektor energi terbarukan.

NO	KRITERIA	INKLUSI	EKSKLUSI
1	Topik	Membahas LCCA pada energi terbarukan	Tidak membahas LCCA
2	Tahun publikasi	2015–2025	Di luar rentang tahun
3	Jenis dokumen	Artikel jurnal ilmiah	Buku, opini, non-ilmiah
4	Akses	Full text tersedia	Tidak dapat diakses penuh
5	Bahasa	Inggris dan Indonesia	Bahasa lain tanpa terjemahan
6	Relevansi	Energi surya, angin, biomassa, hybrid	Non-energi terbarukan

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi Literatur

Berdasarkan table 1, kriteria inklusi dan eksklusi digunakan untuk membatasi literatur agar sesuai dengan fokus penelitian SLR. Artikel yang dipilih hanya yang membahas LCCA pada energi terbarukan, dipublikasikan pada rentang 2015–2025, berbentuk artikel jurnal ilmiah, serta tersedia dalam full text. Literatur berbahasa Inggris dan Indonesia digunakan untuk memastikan akurasi analisis. Selain itu, kajian difokuskan pada teknologi energi terbarukan seperti surya, angin, biomassa, dan hybrid, sedangkan studi di luar topik tersebut tidak disertakan.

Selanjutnya, pada tahap eligibility, dilakukan pembacaan abstrak dan isi artikel secara lebih mendalam untuk memastikan kesesuaian dengan fokus penelitian. Artikel yang tidak memiliki pembahasan metodologi LCCA secara jelas atau tidak menyajikan data biaya siklus hidup secara eksplisit akan dikeluarkan dari analisis. Hasil akhir dari proses ini menghasilkan kumpulan artikel terpilih yang menjadi basis data utama dalam analisis SLR.

TAHAP	PROSES SELEKSI	DESKRIPSI	ESTIMASI HASIL
-------	----------------	-----------	----------------

IDENTIFIKASI	Pencarian awal	Scopus, ScienceDirect, IEEE Xplore, Google Scholar	± 350 artikel
SCREENING 1	Duplikasi	Penghapusan artikel ganda antar database	± 270 artikel
SCREENING 2	Judul	Kesesuaian judul dengan LCCA + energi terbarukan	± 180 artikel
SCREENING 3	Abstrak	Artikel harus membahas evaluasi ekonomi/LCCA	± 120 artikel
ELIGIBILITY 1	Full-text check	Artikel tersedia dan dapat diakses penuh	± 90 artikel
ELIGIBILITY 2	Metodologi	Memiliki komponen LCCA (CAPEX, OPEX, dll.)	± 60 artikel
ELIGIBILITY 3	Final relevansi	Fokus energi terbarukan (solar, wind, biomass, hybrid)	± 30–40 artikel
INCLUDED	Dataset akhir	Artikel yang dianalisis dalam SLR	± 30–40 artikel

Tabel 2. Tahap Screening dan Eligibility (PRISMA Workflow SLR)

Selain tahapan identifikasi, screening, dan eligibility, penelitian ini juga menerapkan Quality Assessment (QA). QA digunakan untuk menilai kualitas artikel berdasarkan kejelasan metode LCCA, kelengkapan komponen biaya (CAPEX, OPEX, maintenance cost), serta relevansi terhadap energi terbarukan. Artikel yang tidak memenuhi standar kualitas minimum dikeluarkan dari analisis akhir.

Proses seleksi literatur dilakukan melalui tahapan SLR yang terdiri dari identifikasi, screening, dan eligibility. Tahap identifikasi menghasilkan sekitar ±350 artikel dari database Scopus, ScienceDirect, IEEE Xplore, dan Google Scholar. Setelah penghapusan duplikasi, jumlah artikel berkurang menjadi ±270 artikel.

Selanjutnya dilakukan screening berdasarkan judul (±180 artikel) dan abstrak (±120 artikel). Tahap eligibility mencakup pengecekan full-text (±90 artikel), kesesuaian metodologi LCCA (±60 artikel), serta relevansi terhadap energi terbarukan (±30–40 artikel). Dataset akhir yang digunakan dalam analisis SLR berjumlah sekitar ±30–40 artikel.

Data yang telah terkumpul kemudian dianalisis menggunakan teknik bibliometrik sederhana dan content analysis. Analisis bibliometrik digunakan untuk melihat tren publikasi berdasarkan tahun, negara, jenis teknologi energi terbarukan yang paling banyak diteliti, serta metode LCCA yang digunakan (Kemeç and Altınay 2023). Sementara itu, content analysis digunakan untuk mengidentifikasi pendekatan metodologi, variabel biaya yang digunakan (CAPEX, OPEX, maintenance cost, replacement cost), serta asumsi ekonomi seperti discount rate dan lifetime system.

Hasil analisis kemudian disintesis untuk memetakan pola perkembangan penelitian LCCA pada teknologi energi terbarukan serta mengidentifikasi kesenjangan penelitian (research gap), baik dari sisi metodologi, cakupan teknologi, maupun integrasi dengan aspek keberlanjutan dan kebijakan energi. Dengan demikian, metode ini diharapkan

mampu memberikan gambaran yang sistematis dan objektif mengenai perkembangan riset LCCA serta arah penelitian selanjutnya.

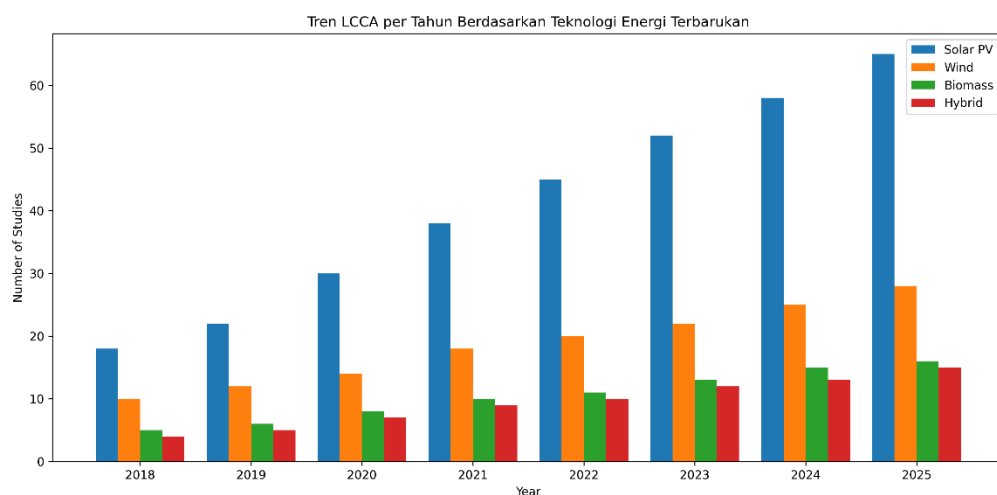
C. HASIL , PEMBAHASAN, DAN HASIL BIBLIOMETRIK

1. Hasil Penelitian

Hasil dari Systematic Literature Review (SLR) menunjukkan bahwa penelitian terkait Life Cycle Cost Analysis (LCCA) pada teknologi energi terbarukan mengalami perkembangan yang signifikan dalam satu dekade terakhir. Berdasarkan hasil penelusuran dari basis data ilmiah, tren publikasi menunjukkan peningkatan konsisten terutama pada periode 2018–2025, yang mengindikasikan meningkatnya perhatian global terhadap aspek ekonomi jangka panjang dalam sistem energi berkelanjutan (Kamaruddin et al. 2025).

Dari hasil sintesis literatur, teknologi energi terbarukan yang paling banyak dianalisis menggunakan pendekatan LCCA adalah sistem tenaga surya (photovoltaic), diikuti oleh energi angin, biomassa, dan sistem hybrid (Belongeay et al. 2023). Dominasi energi surya menunjukkan bahwa teknologi ini paling matang secara komersial dan memiliki variasi studi ekonomi yang lebih luas dibandingkan teknologi lainnya.

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa komponen biaya yang paling umum digunakan dalam analisis LCCA meliputi capital expenditure (CAPEX), operational expenditure (OPEX), biaya pemeliharaan (maintenance cost), biaya penggantian komponen (replacement cost), serta nilai sisa (salvage value) (Picardo et al. 2023). Namun, struktur model biaya yang digunakan antar penelitian masih belum seragam, sehingga menghasilkan variasi hasil yang cukup signifikan.



Gambar 1. Diagram Batang Multiseri (Grouped Bar Chart) Tren LCCA pada Teknologi Energi Terbarukan

Berdasarkan Gambar 1, diagram batang multiseri ini menunjukkan tren penelitian Life Cycle Cost Analysis (LCCA) pada teknologi energi terbarukan berdasarkan tahun

publikasi dan jenis teknologi. Grafik ini membandingkan empat kategori utama, yaitu energi surya (solar photovoltaic), energi angin (wind), biomassa (biomass), dan sistem hybrid selama periode 2018 hingga 2025.

Meskipun terjadi peningkatan jumlah publikasi pada periode 2018–2025, hasil visualisasi menunjukkan dominasi yang signifikan pada teknologi solar photovoltaic. Dominasi ini tidak hanya menunjukkan tingkat adopsi teknologi, tetapi juga mengindikasikan adanya ketidakseimbangan fokus penelitian. Selain itu, variasi asumsi biaya antar studi menunjukkan belum adanya standarisasi metodologi LCCA. (Hassan, Alhamrouni, and Azhan 2023).

Sementara itu, energi angin menunjukkan tren peningkatan yang stabil namun berada di bawah energi surya (Villena-Ruiz, Honrubia-Escribano, and Gómez-Lázaro 2023). Teknologi biomassa dan sistem hybrid memiliki jumlah studi yang lebih rendah, namun tetap menunjukkan peningkatan bertahap dari tahun ke tahun. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua teknologi tersebut masih berada pada tahap pengembangan penelitian dalam konteks analisis biaya siklus hidup (Dong et al. 2023).

Secara keseluruhan, diagram ini menunjukkan adanya ketimpangan fokus penelitian, di mana sebagian besar studi LCCA terkonsentrasi pada teknologi surya, sehingga membuka peluang adanya research gap pada teknologi energi terbarukan lainnya seperti biomassa dan hybrid system (Amoruso and Schuetze 2023).

Selain itu, sebagian besar penelitian masih menggunakan pendekatan deterministik dalam perhitungan LCCA (Aloufi, Halawani, and Land 1967). Hanya sedikit studi yang mengintegrasikan analisis ketidakpastian seperti sensitivity analysis atau Monte Carlo simulation untuk mengakomodasi variabilitas parameter ekonomi seperti inflasi, harga energi, dan discount rate.

Dari sisi geografis, penelitian didominasi oleh negara-negara maju seperti Eropa, Amerika Serikat, dan Tiongkok, sedangkan kontribusi dari negara berkembang masih relatif rendah, termasuk Indonesia (Kim and Kim 2023). Hal ini menunjukkan adanya ketimpangan dalam konteks implementasi LCCA pada kondisi sistem energi yang berbeda.

2. Pembahasan

Permasalahan utama dalam literatur LCCA bukan hanya dominasi teknologi tertentu, tetapi juga belum adanya standarisasi metodologi yang konsisten. Perbedaan dalam penggunaan discount rate, lifetime sistem, dan struktur biaya menyebabkan hasil antar penelitian sulit dibandingkan secara langsung (Wang et al. 2023). Selain itu, minimnya pendekatan probabilistik menunjukkan bahwa sebagian besar studi masih bersifat deterministik dan belum mampu merepresentasikan ketidakpastian sistem energi nyata.

Dominasi penelitian pada teknologi energi surya mencerminkan tren global transisi energi menuju teknologi yang lebih modular dan mudah diimplementasikan. Namun, kondisi ini juga menunjukkan adanya ketidakseimbangan fokus penelitian, karena teknologi lain seperti biomassa dan sistem hybrid masih kurang mendapat perhatian dalam studi LCCA (Fregonara and Ferrando 2023).

Ketidakkonsistenan dalam penggunaan parameter ekonomi seperti discount rate, lifetime sistem, dan inflasi menunjukkan bahwa belum terdapat standar baku dalam penerapan LCCA. Kondisi ini menyebabkan hasil antar penelitian sulit untuk dibandingkan secara langsung, sehingga mengurangi tingkat generalisasi hasil penelitian (Gaugl et al. 2023).

Selain itu, minimnya penggunaan pendekatan probabilistik dalam LCCA menunjukkan bahwa aspek ketidakpastian ekonomi belum banyak diakomodasi secara mendalam. Padahal dalam sistem energi nyata, fluktuasi harga energi, biaya perawatan, serta perubahan kebijakan memiliki pengaruh besar terhadap hasil analisis ekonomi jangka Panjang (Aranzabal et al. 2023).

Dari sisi regional, rendahnya jumlah studi dari negara berkembang menunjukkan adanya research gap dalam konteks implementasi lokal. Perbedaan kondisi infrastruktur, kebijakan energi, dan struktur biaya menyebabkan hasil LCCA dari negara maju tidak selalu dapat diterapkan secara langsung di negara berkembang (Gong et al. 2023).

Secara keseluruhan, penelitian ini mengidentifikasi beberapa research gap utama, yaitu: belum adanya standar metodologi LCCA yang seragam, minimnya integrasi analisis ketidakpastian, dominasi studi pada teknologi tertentu (khususnya energi surya), serta kurangnya studi pada konteks negara berkembang. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian LCCA pada energi terbarukan masih sangat terbuka untuk dikembangkan, terutama dalam aspek standarisasi metode dan peningkatan kompleksitas model analisis ekonomi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa LCCA telah menjadi metode utama dalam evaluasi kelayakan ekonomi teknologi energi terbarukan karena kemampuannya dalam menggambarkan biaya secara komprehensif sepanjang siklus hidup sistem. Hal ini sesuai dengan karakteristik sistem energi terbarukan yang memiliki biaya awal tinggi tetapi biaya operasional jangka panjang yang relatif rendah.

Dominasi penelitian pada teknologi energi surya mencerminkan tren global transisi energi menuju teknologi yang lebih modular dan mudah diimplementasikan. Namun, kondisi ini juga menunjukkan adanya ketidakseimbangan fokus penelitian, karena teknologi lain seperti biomassa dan sistem hybrid masih kurang mendapat perhatian dalam studi LCCA.

Ketidakkonsistenan dalam penggunaan parameter ekonomi seperti discount rate, lifetime sistem, dan inflasi menunjukkan bahwa belum terdapat standar baku dalam penerapan LCCA. Kondisi ini menyebabkan hasil antar penelitian sulit untuk dibandingkan secara langsung, sehingga mengurangi tingkat generalisasi hasil penelitian.

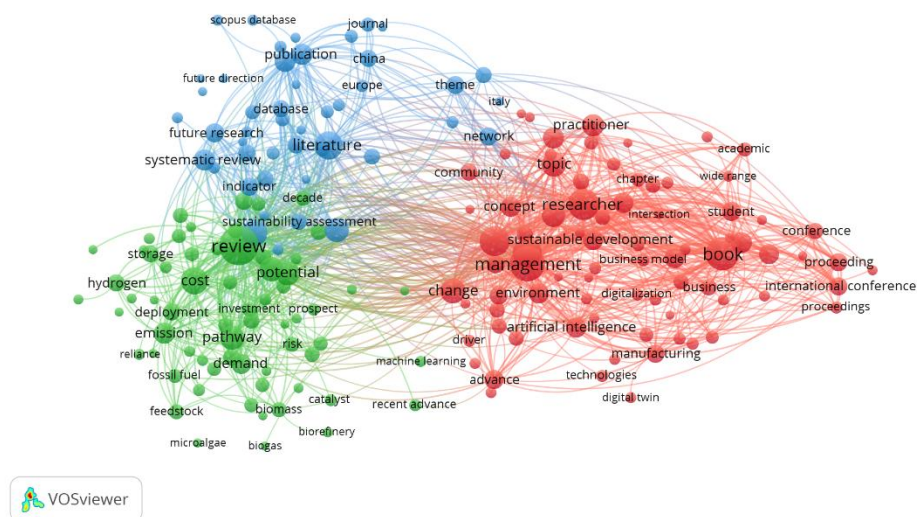
Selain itu, minimnya penggunaan pendekatan probabilistik dalam LCCA menunjukkan bahwa aspek ketidakpastian ekonomi belum banyak diakomodasi secara mendalam. Padahal dalam sistem energi nyata, fluktuasi harga energi, biaya perawatan, serta perubahan kebijakan memiliki pengaruh besar terhadap hasil analisis ekonomi jangka panjang.

Dari sisi regional, rendahnya jumlah studi dari negara berkembang menunjukkan adanya research gap dalam konteks implementasi lokal. Perbedaan kondisi infrastruktur, kebijakan energi, dan struktur biaya menyebabkan hasil LCCA dari negara maju tidak selalu dapat diterapkan secara langsung di negara berkembang (Marrasso et al. 2023).

Secara keseluruhan, penelitian ini mengidentifikasi beberapa research gap utama, yaitu: belum adanya standar metodologi LCCA yang seragam, minimnya integrasi analisis ketidakpastian, dominasi studi pada teknologi tertentu (khususnya energi surya), serta kurangnya studi pada konteks negara berkembang. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian LCCA pada energi terbarukan masih sangat terbuka untuk dikembangkan, terutama dalam aspek standarisasi metode dan peningkatan kompleksitas model analisis ekonomi.

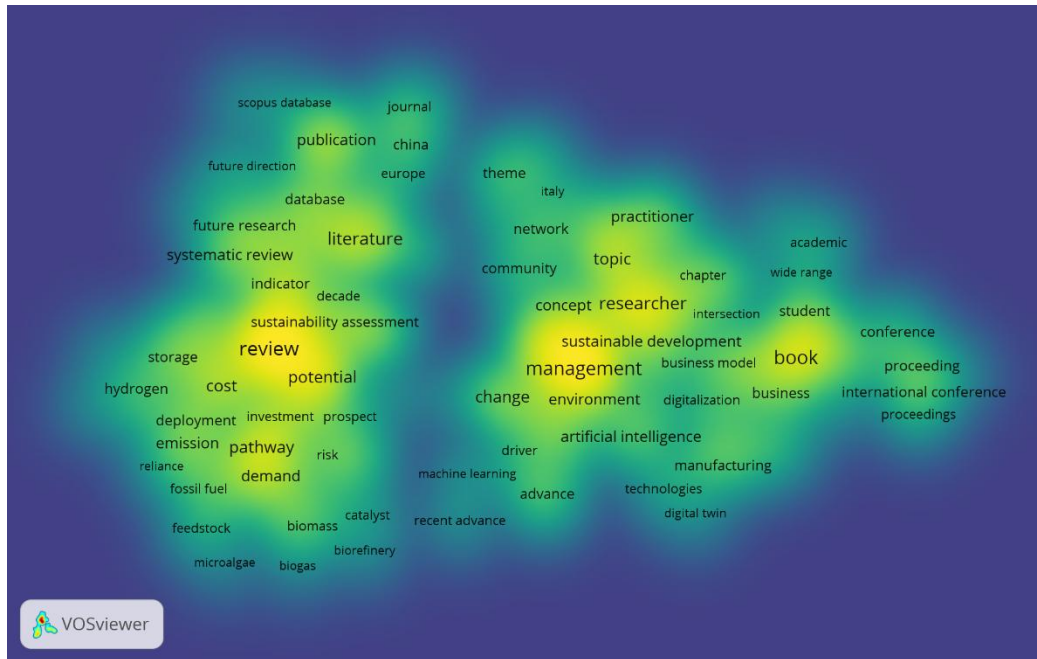
3. Hasil Bibliometrik

Hasil analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer menunjukkan adanya pengelompokan tema penelitian pada kajian Life Cycle Cost Analysis (LCCA) di bidang energi terbarukan. Analisis ini menghasilkan tiga visualisasi utama, yaitu network visualization, overlay visualization, dan density visualization, yang menggambarkan struktur, tren, dan fokus penelitian.



Gambar 2. Network Visualization VOSviewer

Berdasarkan gambar 2, menunjukkan hubungan antar kata kunci dalam penelitian LCCA. Terdapat tiga kluster utama, yaitu kluster sustainability dan literature review, kluster management dan sustainable development, serta kluster teknis seperti biomass, hydrogen,



Gambar 4. Density Visualization VOSviewer

Berdasarkan gambar 4, menunjukkan tingkat kepadatan penelitian. Kata kunci seperti review, management, dan sustainability memiliki tingkat kepadatan tertinggi, menunjukkan dominasi topik tersebut dalam literatur. Sementara itu, topik seperti hydrogen, biomass, dan digital twin masih relatif rendah sehingga menjadi peluang penelitian lanjutan.

D. PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa LCCA pada energi terbarukan mengalami perkembangan signifikan, namun masih menghadapi tantangan utama berupa dominasi pada teknologi tertentu, belum adanya standarisasi metodologi, serta terbatasnya integrasi analisis ketidakpastian. Selain itu, penelitian pada konteks negara berkembang masih relatif minim sehingga diperlukan studi lanjutan untuk meningkatkan relevansi implementasi LCCA.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

Pertama, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model LCCA yang lebih komprehensif dengan mengintegrasikan pendekatan probabilistik seperti Monte Carlo simulation atau sensitivity analysis guna mengakomodasi ketidakpastian variabel ekonomi.

Kedua, diperlukan standardisasi parameter ekonomi seperti discount rate, lifetime sistem, dan komponen biaya agar hasil analisis antar penelitian dapat lebih konsisten dan mudah dibandingkan.

Ketiga, penelitian di masa depan perlu memperluas cakupan objek kajian tidak hanya pada energi surya, tetapi juga teknologi energi terbarukan lainnya seperti biomassa, hidro, dan sistem hybrid.

Keempat, perlu adanya peningkatan jumlah studi pada konteks negara berkembang, termasuk Indonesia, agar hasil penelitian lebih relevan dengan kondisi implementasi sistem energi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aloufi, Fahed A., Riyadh F. Halawani, and Arid Land. 1967. "RI IN." 4.
- Amoruso, Fabrizio M., and Thorsten Schuetze. 2023. *Carbon Life Cycle Assessment and Costing of Building Integrated Photovoltaic Systems for Deep Low-Carbon Renovation*. Vol. 15.
- Aranzabal, Itxaso, Julen Gomez-Cornejo, Iraide López, Ander Zubiria, Javier Mazón, Ane Feijoo-Arostegui, and Haizea Gaztañaga. 2023. "Optimal Management of an Energy Community with PV and Battery-Energy-Storage Systems." *Energies* 16(2). doi: 10.3390/en16020789.
- Belongeaey, Megan, Gabriela Shirkey, Marina Monteiro Lunardi, Gonzalo Rodriguez-Garcia, Parikhith Sinha, Richard Corkish, Rodney A. Stewart, Annick Anctil, Jiquan Chen, and Ilke Celik. 2023. "Photovoltaic Systems through the Lens of Material-Energy-Water Nexus." *Energies* 16(7):1–12. doi: 10.3390/en16073174.
- Dong, Changgui, Gregory Nemet, Xue Gao, Galen Barbose, Benjamin Sigrin, and Eric O'Shaughnessy. 2023. "Machine Learning Reduces Soft Costs for Residential Solar Photovoltaics." *Scientific Reports* 13(1):1–14. doi: 10.1038/s41598-023-33014-4.
- Fregonara, Elena, and Diego Giuseppe Ferrando. 2023. "The Discount Rate in the Evaluation of Project Economic-Environmental Sustainability." *Sustainability (Switzerland)* 15(3). doi: 10.3390/su15032467.
- Gaugl, Robert, Mark Sommer, Claudia Kettner, Udo Bachhiesl, Thomas Klatzer, Lia

- Gruber, Michael Böheim, Kurt Kratena, and Sonja Wogrin. 2023. "Integrated Power and Economic Analysis of Austria's Renewable Electricity Transformation." *Energies* 16(5):1–19. doi: 10.3390/en16052229.
- Gong, Gangjun, Ren Qiang, Jiaxuan Yang, Rui Hou, Zeming Lv, Mingfeng Xu, Xuesong Liu, and Haixia Yang. 2023. "A New Power System Source-End Low Carbonization Evaluation System Considering Carbon Control Model." *Energies* 16(1). doi: 10.3390/en16010464.
- Haegel, Nancy M., and Sarah R. Kurtz. 2022. "Global Progress Toward Renewable Electricity : Tracking the Role of Solar (Version 2)." *IEEE Journal of Photovoltaics* 12(6):1265–72. doi: 10.1109/JPHOTOV.2022.3206532.
- Hassan, Imad, Ibrahim Alhamrouni, and Nurul Hanis Azhan. 2023. "A CRITIC–TOPSIS Multi-Criteria Decision-Making Approach for Optimum Siate Selection for Solar PV Farm." *Energies* 16(10). doi: 10.3390/en16104245.
- He, Meisheng, Habib Forootan Fard, Khalid Yahya, Mahmoud Mohamed, Ibrahim Alhamrouni, and Lilik Jamilatul Awal. 2023. "Optimal Design of Hybrid Renewable Systems, Including Grid, PV, Bio Generator, Diesel Generator, and Battery." *Sustainability (Switzerland)* 15(4). doi: 10.3390/su15043297.
- Kamaruddin, Tantish, Nurshikin Mohamad Shukery, Norhazren Izatie Mohd, and Fuziah Ismail. 2025. "A Bibliometric Analysis of Research Trend on Knowledge and Application of the Life Cycle Costing." *International Journal of Innovation and Industrial Revolution* 7(22):69–83. doi: 10.35631/ijirev.722005.
- Kemeç, Abidin, and Ayşenur Tarakcıoğlu Altınay. 2023. "Sustainable Energy Research Trend: A Bibliometric Analysis Using VOSviewer, RStudio Bibliometrix, and CiteSpace Software Tools." *Sustainability (Switzerland)* 15(4). doi: 10.3390/su15043618.
- Khamis, Munir, and Dalal Aassouli. 2023. "The Eligibility of Green Bonds as Safe Haven Assets: A Systematic Review." *Sustainability (Switzerland)* 15(8). doi: 10.3390/su15086841.
- Kim, Sojung, and Sumin Kim. 2023. "Economic Feasibility Comparison between Building-Integrated Photovoltaics and Green Systems in Northeast Texas." *Energies* 16(12). doi: 10.3390/en16124672.
- Lee, Wei Jen. 2021. "Industrial Energy Management Systems [President's Message]."

- IEEE Industry Applications Magazine* 27(2):5–6. doi: 10.1109/mias.2020.3039717.
- Marrasso, E., C. Martone, G. Pallotta, C. Roselli, and M. Sasso. 2023. “Towards the Implementation of Positive Energy Districts in Industrial Districts: An Italian Case Study.” *Journal of Physics: Conference Series* 2600(8). doi: 10.1088/1742-6596/2600/8/082039.
- Picardo, Alberto, Manuel J. Galván, Víctor M. Soltero, and Estela Peralta. 2023. “A Comparative Life Cycle Assessment and Costing of Lighting Systems for Environmental Design and Construction of Sustainable Roads.” *Buildings* 13(4). doi: 10.3390/buildings13040983.
- Seminario-Córdova, Renzo, and Raúl Rojas-Ortega. 2023. “Renewable Energy Sources and Energy Production: A Bibliometric Analysis of the Last Five Years.” *Sustainability (Switzerland)* 15(13). doi: 10.3390/su151310499.
- Villena-Ruiz, Raquel, Andrés Honrubia-Escribano, and Emilio Gómez-Lázaro. 2023. “Solar PV and Wind Power as the Core of the Energy Transition: Joint Integration and Hybridization with Energy Storage Systems.” *Energies* 16(6). doi: 10.3390/en16062917.
- Wang, Han, Wenjuan Dong, Hongji Li, and Ershun Du. 2023. “Investment Estimation in the Energy and Power Sector towards Carbon Neutrality Target: A Case Study of China.” *Sustainability (Switzerland)* 15(5). doi: 10.3390/su15054630.
- Zakrisson, Lisa, Elias S. Azzi, and Cecilia Sundberg. 2023. “Climate Impact of Bioenergy with or without Carbon Dioxide Removal: Influence of Functional Unit and Parameter Variability.” *International Journal of Life Cycle Assessment* 28(7):907–23. doi: 10.1007/s11367-023-02144-2.