

Analisis Bibliometrik terhadap Efektivitas Teknologi Daur Ulang dalam Pengelolaan Limbah dan Pengurangan Pencemaran Lingkungan

Muhammad Taswin¹, Ramdan Yusuf², Andi Haslinah³, Hotnida Nainggolan⁴

¹ Universitas Halu Oleo dan taswinmunier@gmail.com

² Universitas Madako Tolitoli dan ramdanyusuf792@gmail.com

³ Universitas Islam Makassar dan haslinah.dty@uim-makassar.ac.id

⁴ Universitas Sains dan Teknologi Jayapura dan ubnida@gmail.com

ABSTRAK

Meningkatnya tantangan yang ditimbulkan oleh timbunan sampah dan pencemaran lingkungan membutuhkan pendekatan inovatif dan strategi komprehensif untuk pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Studi ini menggunakan teknik analisis bibliometrik, dengan fokus pada kutipan utama dan kemunculan kata kunci, untuk menjelaskan lanskap teknologi daur ulang saat ini dalam pengelolaan sampah. Karya-karya yang berpengaruh, termasuk artikel penting oleh JR Jambeck dkk. tentang input sampah plastik ke laut dan analisis pemulihan limbah di industri penyamakan kulit, menjadi referensi dasar. Kemunculan kata kunci menunjukkan tema dominan seperti limbah elektronik, pengolahan air limbah, dan kebijakan, yang mencerminkan sifat interdisipliner dari penelitian pengelolaan limbah. Selain itu, kemunculan istilah yang lebih jarang seperti "Penilaian Siklus Hidup" dan "Ekonomi melingkar" menunjukkan potensi untuk eksplorasi di masa depan. Sintesis temuan menggarisbawahi keterkaitan tema-tema pengelolaan sampah, yang menekankan perlunya pendekatan holistik dan berkelanjutan. Wawasan yang diperoleh dari analisis ini dapat memandu para peneliti, pembuat kebijakan, dan pemangku kepentingan industri dalam mengatasi tantangan saat ini dan memajukan solusi inovatif untuk pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Teknologi Daur Ulang, Pengelolaan Limbah, Pencemaran Lingkungan, Analisis Bibliometrik

ABSTRACT

The increasing challenges posed by waste generation and environmental pollution require innovative approaches and comprehensive strategies for sustainable waste management. This study uses bibliometric analysis techniques, focusing on key citations and keyword occurrences, to shed light on the current landscape of recycling technologies in waste management. Influential works, including landmark articles by J.R. Jambeck et al. on the input of plastic waste into the ocean and an analysis of waste recovery in the tannery industry, formed the reference base. The occurrence of keywords showed dominant themes such as e-waste, wastewater treatment, and policy, reflecting the interdisciplinary nature of waste management research. In addition, the rarer occurrence of terms such as "Life Cycle Assessment" and "Circular economy" indicates potential for future exploration. The synthesis of findings underscores the interconnectedness of waste management themes, emphasizing the need for a holistic and sustainable approach. The insights gained from this analysis can guide researchers, policy makers and industry stakeholders in addressing current challenges and advancing innovative solutions for sustainable waste management.

Keywords: Recycling Technology, Waste Management, Environmental Pollution, Bibliometric Analysis

PENDAHULUAN

Kelestarian lingkungan adalah masalah global yang mendesak karena meningkatnya tingkat polusi dan penipisan sumber daya. Pembuangan limbah yang tidak berkelanjutan menimbulkan ancaman yang signifikan terhadap ekosistem dan kesejahteraan manusia. Sangatlah penting untuk mengambil langkah-langkah mendesak untuk mengatasi tantangan pengelolaan sampah. Strategi pengelolaan limbah memiliki konsekuensi serius bagi alam, termasuk menipisnya sumber daya alam dan gangguan pada ekosistem global dan proses biokimia (Budjav, 2022). Limbah industri merupakan sumber utama pencemaran lingkungan, karena industri sering kali membuang

limbah beracun dan berbahaya yang mencemari lingkungan (Duodu et al., 2022). Entomokomposting, proses biokonversi menggunakan tahap kehidupan serangga, telah muncul sebagai metode yang cepat, terjangkau, dan berkelanjutan untuk mendaur ulang limbah organik dan menekan patogen (Beesigamukama et al., 2023). Penipisan sumber daya dan pencemaran lingkungan adalah produk sampingan dari produksi industri, yang menekankan perlunya pembangunan berkelanjutan dan keefisiensi (Yadav et al., 2021). Pengelolaan limbah yang berkelanjutan sangat penting untuk mencegah pencemaran tanah, air, dan udara, dan berbagai alat tersedia untuk mengevaluasi dan meningkatkan sistem pengelolaan limbah (Loizia et al., 2019).

Recycling technologies have emerged as an important aspect in sustainable waste management, offering promising solutions to reduce the environmental impact of waste disposal. The effectiveness of recycling technology in waste management and its role in reducing environmental pollution has been studied extensively. Studies have shown that recycling can lead to significant reductions in CO₂ emissions, both in terms of thermal waste treatment and material recycling (Ahmed et al., 2023). Additionally, the use of advanced treatment technologies, such as incineration, chemical treatment, and biodegradation, has been found to be crucial for effective pharmaceutical waste management (Unegg et al., 2023). Furthermore, the Internet of Things (IoT) has been identified as a technology that can greatly improve recycling and waste management practices. IoT can be used to monitor recycling processes, allocate logistics, and reduce costs and lead times (Nainwal, n.d.). Direct recycling technologies have also gained attention, as they offer energy-efficient and sustainable ways to manage end-of-life lithium-ion batteries (Tabaghchi Milan et al., 2023). Overall, recycling technologies play a vital role in sustainable waste management, contributing to the preservation of our planet and the reduction of environmental pollution.

Industrialisasi yang cepat, urbanisasi, dan pertumbuhan populasi telah menyebabkan peningkatan yang belum pernah terjadi sebelumnya dalam menghasilkan berbagai jenis limbah, mulai dari limbah padat kota hingga produk sampingan industri (Budiman et al., 2022; Iskandar & Sarastika, 2023; Rusmayadi et al., 2023; Trinandari Prasetyo Nugrahanti, 2020). Metode pembuangan sampah tradisional, seperti penimbunan dan pembakaran, telah terbukti merusak lingkungan, berkontribusi pada degradasi tanah, polusi udara, dan kontaminasi sumber air. Urgensi untuk mengatasi tantangan lingkungan ini telah memicu minat yang semakin besar terhadap teknologi daur ulang sebagai sarana untuk tidak hanya mengelola limbah secara lebih efektif tetapi juga untuk berkontribusi pada tujuan yang lebih luas dari konservasi lingkungan.

LITERATURE REVIEW

A. Teknologi Daur Ulang dalam Pengelolaan Sampah

Evolusi teknologi daur ulang telah didorong oleh kemajuan teknologi, kepedulian terhadap lingkungan, dan kebutuhan akan pengelolaan sampah yang efektif. Upaya daur ulang awal berfokus pada bahan dasar seperti kertas, kaca, dan logam (Kong et al., 2023). Namun, teknologi daur ulang kontemporer telah berkembang untuk mencakup proses yang lebih canggih seperti pemilahan sampah, pemulihan material, dan konversi energi (Fuchs et al., 2023). Salah satu kemajuan penting adalah munculnya teknologi limbah menjadi energi, yang tidak hanya mengurangi limbah tetapi juga memanfaatkan energi dari bahan yang dibuang (Sahajwalla & Hossain, 2023). Teknologi seperti insinerasi dan

pencernaan anaerobik telah mendapatkan popularitas karena menawarkan solusi untuk pengelolaan limbah dan pembangkit energi (Tembhare & Bhanvase, 2023). Mengevaluasi dampak lingkungan dan efisiensi dari teknologi ini sangat penting dalam menentukan kesesuaiannya untuk implementasi yang lebih luas (Xu et al., 2023).

B. Pengurangan Polusi Lingkungan

Teknologi daur ulang memainkan peran penting dalam mengurangi polusi udara dengan mencegah pelepasan gas rumah kaca melalui pembakaran sampah yang terkendali dan pencegahan pelepasan metana dari tempat pembuangan sampah (Mesquita et al., 2023). Praktik pengelolaan sampah yang tepat, termasuk daur ulang, juga dapat membantu mencegah pencucian zat berbahaya ke dalam sumber air dan tanah, sehingga berkontribusi pada peningkatan kualitas air dan tanah (Sahajwalla & Hossain, 2023). Namun, penting untuk dicatat bahwa proses daur ulang tertentu dapat menimbulkan kontaminan, menyoroti perlunya pemahaman yang komprehensif tentang dinamika ini untuk merancang strategi daur ulang yang meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan (Crook, 2023). Dengan memahami proses-proses ini, kita dapat menilai manfaat daur ulang terhadap lingkungan yang lebih luas dan mengembangkan strategi yang secara efektif mengurangi polusi udara dan melindungi kualitas air dan tanah.

C. Kesenjangan dalam Literatur yang Ada

Meskipun banyak penelitian telah mengeksplorasi teknologi daur ulang, terdapat kesenjangan yang mencolok dalam distribusi geografis dari upaya penelitian. Beberapa wilayah mungkin berada di garis depan dalam mengadopsi dan berinovasi dalam praktik daur ulang, sementara wilayah lainnya tertinggal. Menilai kesenjangan regional ini dapat menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi adopsi dan efektivitas teknologi daur ulang dalam skala global.

Integrasi teknologi daur ulang dengan praktik-praktik berkelanjutan lainnya dan tingkat kolaborasi interdisipliner dalam komunitas penelitian merupakan aspek yang perlu dieksplorasi lebih lanjut. Memahami bagaimana teknologi yang berbeda saling melengkapi dan mengidentifikasi peluang untuk penelitian kolaboratif dapat meningkatkan efektivitas strategi daur ulang secara keseluruhan.

Keberhasilan inisiatif daur ulang tidak hanya bergantung pada kemajuan teknologi, tetapi juga pada sikap dan perilaku masyarakat. Literatur yang ada seringkali mengabaikan aspek sosial dan perilaku yang mempengaruhi adopsi praktik daur ulang. Mengeksplorasi dimensi-dimensi ini sangat penting untuk merancang intervensi yang mendorong penerimaan dan partisipasi yang luas dalam program daur ulang.

METODE PENELITIAN

Untuk melakukan analisis bibliometrik yang komprehensif, tinjauan literatur sistematis akan dilakukan untuk mengidentifikasi artikel, makalah konferensi, dan ulasan yang relevan terkait

dengan teknologi daur ulang dalam pengelolaan sampah. Pencarian akan dilakukan dengan menggunakan database terkemuka seperti PubMed, Scopus, dan Web of Science. Kata kunci termasuk " *recycling technology*," " *waste management*," dan " *environmental pollution reduction*" akan digunakan untuk memastikan masuknya literatur yang relevan, proses ini di bantu Publish or Perish (PoP) dalam mengumpulkan paper dan Mendeley yang di akses pada 01 Oktober 2023.

Table 1. Research Data Metrics

Publication years	: 1978-2023
Citation years	: 45 (1978-2023)
Paper	: 980
Citations	: 208832
Cites/year	: 4640.71
Cites/paper	: 213.09
Cites/author	: 89379.09
Papers/author	: 415.70
Author/paper	: 3.21
h-index	: 234
g-index	: 420
hI,norm	: 144
hI,annual	: 3.20
hA-index	: 77
Papers with ACC	: 1,2,5,10,20:950,908,780,598,360

Analisa Data

Analisis bibliometrik dilakukan dengan menggunakan VOSviewer, sebuah alat yang digunakan secara luas untuk memvisualisasikan dan menganalisis jaringan bibliometric (Iskandar et al., 2021). VOSviewer memberikan wawasan tentang jaringan kolaborasi, pola pengutipan, dan kemunculan bersama kata kunci dalam kumpulan data yang diberikan. Selain itu, VOSviewer juga memungkinkan identifikasi penulis yang berpengaruh, tema penelitian utama, dan tren yang muncul. Jaringan kepengarangan bersama akan dibangun untuk memvisualisasikan pola kolaborasi di antara para peneliti di bidang teknologi daur ulang dan pengelolaan sampah. Analisis ini akan mengidentifikasi penulis yang produktif dan kelompok kolaboratif, yang menawarkan wawasan tentang dinamika berbagi pengetahuan dalam komunitas akademik. Pola kutipan akan dianalisis untuk mengidentifikasi artikel yang paling banyak dikutip dan penulis yang berpengaruh. Analisis ini akan mencakup metrik seperti jumlah kutipan, indeks-h, dan faktor dampak jurnal. Pendekatan ini akan membantu menilai dampak dan signifikansi studi individu dalam lanskap keilmuan yang lebih luas. Analisis kemunculan bersama kata kunci akan mengungkap tema dan topik yang lazim dalam literatur. Dengan mengidentifikasi kelompok kata kunci yang sering muncul bersamaan, analisis ini akan menyoroti bidang-bidang utama yang menjadi fokus dan tren yang muncul dalam penelitian yang terkait dengan teknologi daur ulang dalam pengelolaan sampah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

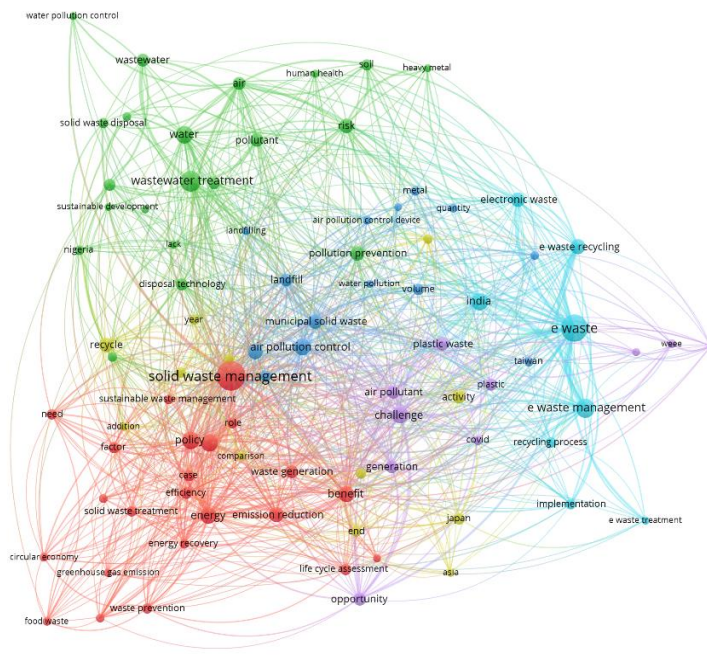


Figure 1. Mapping Vizualization

Visualisasi yang dihasilkan VOSviewer, termasuk peta jaringan dan kelompok kata kunci, memberikan representasi intuitif tentang hubungan yang kompleks di antara penulis, artikel, dan kata kunci. Visualisasi ini meningkatkan aksesibilitas hasil, sehingga memungkinkan para pemangku kepentingan untuk memahami dinamika lanskap penelitian yang rumit.

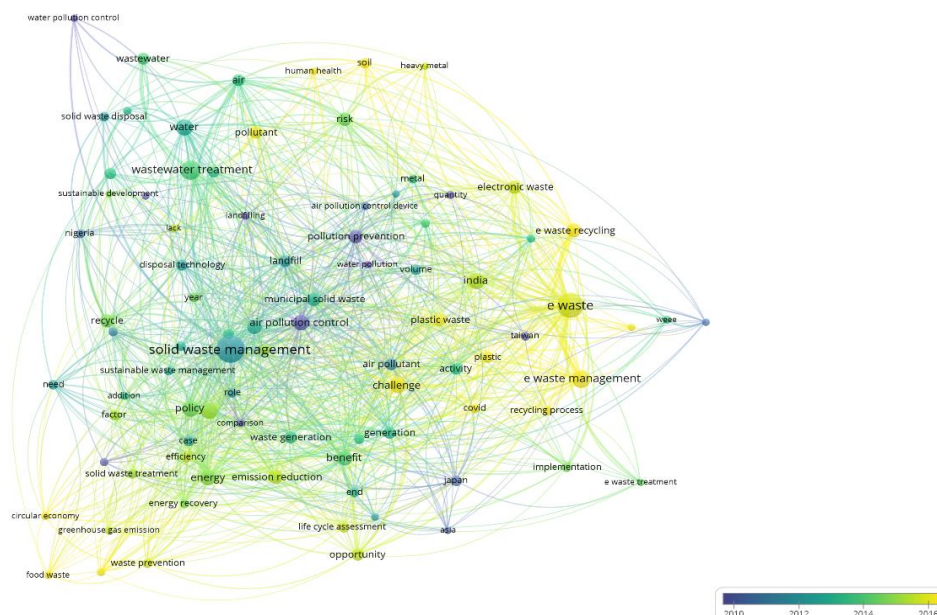


Figure 2. Trend Research

Secara khusus, analisis ini menyoroti tren peningkatan kolaborasi interdisipliner, dengan para peneliti dari berbagai latar belakang yang berkumpul untuk mengatasi berbagai tantangan teknologi daur ulang dalam pengelolaan sampah. Pendekatan kolaboratif ini menunjukkan adanya pengakuan yang semakin besar terhadap kebutuhan akan solusi komprehensif yang mengintegrasikan kemajuan teknologi dengan pertimbangan lingkungan dan sosial.

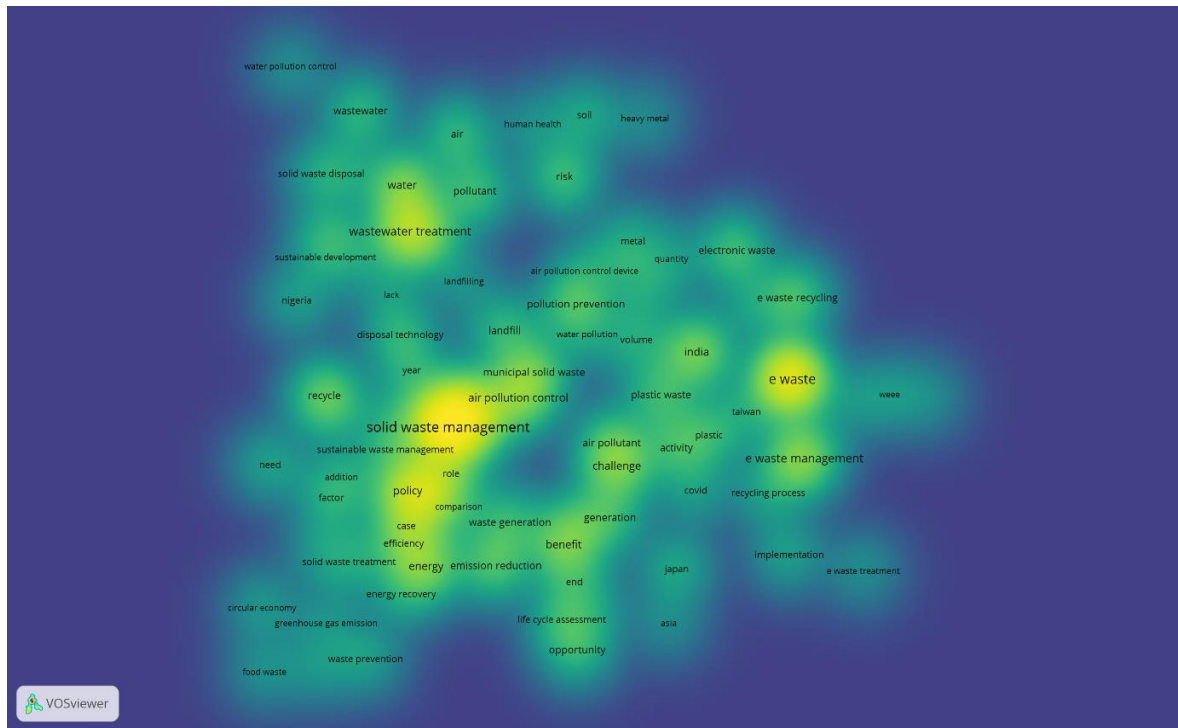


Figure 3. Cluster Mapping

Dalam analisis bibliometrik kami menggunakan VOSviewer, muncul enam klaster yang berbeda, masing-masing mewakili fokus tematik yang kohesif dalam penelitian tentang teknologi daur ulang dalam pengelolaan sampah. Total item dalam setiap klaster, bersama dengan kata kunci yang paling sering muncul dan kemunculannya, memberikan wawasan yang berharga tentang topik dan tren yang berlaku dalam literatur.

Table 2. Cluster Identifications

Cluster	Total Items	Most frequent keywords (occurrences)	Keyword
1	14	Air Pollution control (20), human health (30), sustainable waster manager (25)	Air pollution control, air pollution control device, air pollution control residu, construction, critical review, human health, incineration, landfill, landfiling, municipal solid waste, quantity, serious environmental pro, solid waste disposal, sustainable waste manager.
2	13	Circular economy (20), energy (25), food waste (15)	Circular economy, efficiency, emission reduction, energy, energy recovery, factor, food waste, greenhouse gas emission, policy, solid waste

			treatment, source reduction, waste management systems, waste prevention.
3	12	Wastewater treatment (20), water (30)	Disposal technology, land, pollution prevention, recycle, safe disposal, sustainable development, waste generation, wastewater, wastewater treatment, wastewater treatment plant, water, water pollution control.
4	8	Electronic equipment (20), water pollution (20)	Air pollutant, air pollutant control systems, electronic equipment, mechanical equipment, volume, water pollution.
5	7	Life cycle assessment (20), implementation (25)	E waste, e waste management, e waste treatment, generation, implementation, life cycle assessment, recycling process
6	6	Activity (20), risk (30)	Activity, electronic waste, heavy metal, risk, soil

Klaster-klaster yang teridentifikasi mengungkapkan tema-tema yang saling berhubungan dalam konteks yang lebih luas dari teknologi daur ulang dalam pengelolaan sampah. Misalnya, titik temu antara pengendalian polusi udara, kesehatan manusia, dan pengelolaan sampah yang berkelanjutan (Klaster 1) menunjukkan pendekatan holistik yang mempertimbangkan implikasi lingkungan dan kesehatan masyarakat. Demikian pula, penekanan pada prinsip-prinsip ekonomi sirkular dan energi (Klaster 2) menggarisbawahi perlunya solusi terintegrasi yang menangani efisiensi sumber daya dan pemulihan energi. Klaster yang berfokus pada pengolahan air limbah, polusi air, dan limbah elektronik (Klaster 3 dan 4) menyoroti peran penting praktik pengelolaan limbah yang efektif dalam mengatasi tantangan lingkungan yang terkait dengan kualitas air dan pembuangan limbah elektronik. Klaster-klaster ini memberikan dasar untuk arah penelitian di masa depan yang bertujuan untuk mengembangkan teknologi dan kebijakan yang berkelanjutan di bidang-bidang ini.

Klaster yang berpusat di sekitar penilaian dan implementasi siklus hidup (Klaster 5) menunjukkan minat yang semakin besar dalam mengevaluasi seluruh siklus hidup produk dan menerapkan solusi praktis. Hal ini sejalan dengan tujuan yang lebih luas untuk mencapai praktik pengelolaan limbah yang berkelanjutan dan mengurangi dampak lingkungan. Klaster 6, yang berfokus pada aktivitas dan risiko terkait, menyoroti pentingnya memahami dan mengelola potensi risiko dari aktivitas pengelolaan limbah. Klaster ini memberikan wawasan yang berharga tentang tindakan pencegahan dan langkah-langkah yang diperlukan untuk memastikan pengelolaan limbah yang aman dan berkelanjutan.

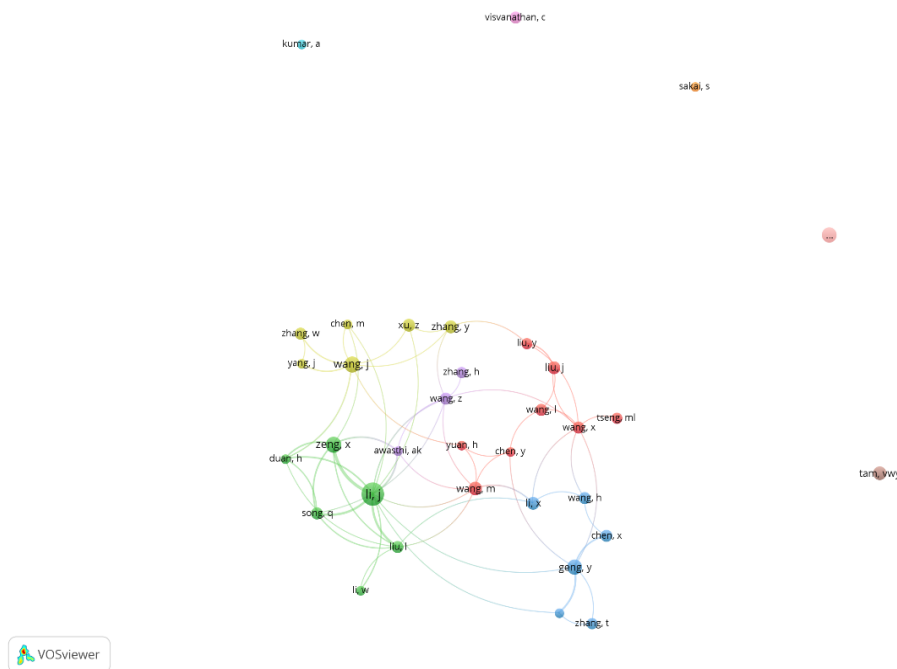


Figure 4. Author’s Collaborations

Pemilihan kolaborasi penulis utama mencerminkan sifat interdisipliner dari penelitian pengelolaan limbah. Karya-karya yang membahas pengelolaan limbah berbahaya, teknik lingkungan, dan limbah padat perkotaan di kota-kota di India secara kolektif memberikan perspektif yang beragam tentang tantangan dan peluang yang beragam di bidang ini. Keterkaitan dari karya-karya utama ini menekankan pentingnya pendekatan holistik yang mempertimbangkan dimensi lingkungan, sosial, dan ekonomi.

Tabel 3. Analisis Kutipan

Citations	Authors and year	Title
11146	JR Jambeck, R Geyer, C Wilcox, TR Slegler (2015)	Plastic waste inputs from land into the ocean
3983	C Collivignarelli, G Barducci (1984)	Waste recovery from the tanning industry
2453	SM Al-Salem, P Lettieri, J Baeyens (2009)	Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review
2344	JN Hahladakis, CA Velis, R Weber, E Iacovidou (2018)	An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling
2057	P Shrivastava (1995)	Environmental technologies and competitive advantage
1936	K Ragaert, L Delva, K Van Geem (2017)	Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste

Citations	Authors and year	Title
1928	CA Martinez-Huitle, S Ferro (2006)	Electrochemical oxidation of organics pollutants for the wastewater treatment: direct and indirect processes
1835	MD LaGrega, PL Buckingham, JC Evans (2010)	Hazardous waste management
1690	HS Peavy, Dr Rowe, G Tchobanoglous (1985)	Environmental engineering
1637	M Sharholly, K Ahmad, G Mahmood, RC Trivedi (2008)	Municipal solid waste management in Indian cities-A review

Analisis terhadap kutipan-kutipan utama mengungkap karya-karya penting yang secara signifikan membentuk wacana dalam teknologi daur ulang dan pengelolaan sampah. Khususnya, karya JR Jambeck dkk. (2015) tentang masukan sampah plastik ke laut menggarisbawahi keprihatinan global tentang polusi plastik. Kutipan dari Collivignarelli dan Barducci (1984) dan Al-Salem dkk. (2009) memberikan wawasan tentang pemulihan limbah dan daur ulang sampah plastik. Karya-karya ini berfungsi sebagai referensi dasar, memandu para peneliti dan pembuat kebijakan dalam mengatasi tantangan lingkungan yang kritis.

Tabel 4. Analisis Kata Kunci

Most occurrences		Fewer occurrences	
Occurrences	Term	Occurrences	Term
117	E waste	20	Life cycle assessment
66	Wastewater treatment	19	Serious environmental problem
60	E waste management	18	Solid waste problem
50	Policy	17	Recycling process
49	Waste management system	16	Energy recovery
46	Energy	16	Sustainable waste management
44	Air pollution control	15	Critical review
37	Incineration	14	Circular economy
35	Municipal solid waste	14	Air pollution control system
34	Pollution prevention	13	Quantity
33	Electronic waste	12	Food waste
32	Risk	11	E waste treatment
29	Plastic waste	11	Greenhouse gas emission
27	wastewater	10	Air pollution control residue

Analisis kemunculan kata kunci menyoroti tema dan titik fokus yang dominan dalam literatur pengelolaan limbah saat ini. "Waste electronic" muncul sebagai istilah yang sangat lazim, menggarisbawahi peningkatan penekanan pada pengelolaan limbah elektronik. Kemunculan

istilah-istilah seperti "Pengolahan air limbah," " Energy," dan " Control pollution" mencerminkan pentingnya penanganan kualitas air, pemulihan energi, dan polusi udara dalam praktik pengelolaan limbah.

Kehadiran " Life Cycle Assessment" dengan jumlah kejadian yang lebih sedikit menunjukkan adanya peluang penelitian yang potensial. Mengeksplorasi implikasi siklus hidup dari berbagai strategi pengelolaan sampah yang berbeda dapat memberikan wawasan yang berharga tentang keberlanjutan lingkungan dari pendekatan-pendekatan ini. Selain itu, kemunculan " Circular economy" yang relatif lebih sedikit menunjukkan area potensial untuk eksplorasi lebih lanjut, mendorong para peneliti untuk menyelidiki prinsip-prinsip ekonomi melingkar dalam konteks pengelolaan sampah.

Tingginya kemunculan istilah " Policy " menggarisbawahi peran penting dari kerangka kerja peraturan dalam membentuk praktik pengelolaan sampah. Kebijakan dan struktur tata kelola yang efektif sangat penting untuk menciptakan lingkungan yang mendorong inisiatif pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Temuan ini menekankan perlunya upaya kolaboratif antara peneliti, pembuat kebijakan, dan pemangku kepentingan industri untuk membuat kebijakan pengelolaan sampah yang komprehensif dan efektif.

Implikasi

Pendekatan Holistik untuk Pengelolaan Sampah Berkelanjutan

Sintesis dari kutipan utama dan kemunculan kata kunci menunjukkan adanya peningkatan kesadaran akan tantangan lingkungan yang ditimbulkan oleh berbagai jenis limbah. Keterkaitan antar tema menyoroti perlunya pendekatan holistik yang mempertimbangkan seluruh siklus hidup material, mulai dari produksi hingga pembuangan. Praktik pengelolaan sampah yang berkelanjutan seharusnya tidak hanya menangani aliran sampah tertentu, seperti sampah elektronik atau polusi plastik, tetapi juga mengintegrasikan pertimbangan lingkungan yang lebih luas.

Pengaruh terhadap Agenda dan Kebijakan Penelitian

Karya-karya berpengaruh dan tema-tema umum yang diidentifikasi dalam analisis kemungkinan besar akan memiliki dampak jangka panjang terhadap agenda penelitian dan kebijakan. Para pembuat kebijakan dapat memanfaatkan wawasan dari karya-karya utama ini untuk menginformasikan kerangka kerja peraturan, sementara para peneliti dapat menggunakan tema-tema yang teridentifikasi untuk memandu penyelidikan di masa depan. Temuan-temuan ini berkontribusi dalam membentuk pemahaman kolektif tentang tantangan dan peluang dalam bidang teknologi daur ulang dan pengelolaan sampah.

Tantangan dan Peluang untuk Penelitian di Masa Depan

Sementara topik-topik tertentu, seperti limbah elektronik dan pengolahan air limbah, terus mendominasi wacana, identifikasi istilah-istilah yang lebih jarang muncul seperti "Penilaian Siklus Hidup" dan "Ekonomi sirkular" menandakan area-area potensial untuk penelitian di masa depan. Para peneliti dapat mengeksplorasi aspek-aspek yang jarang dieksplorasi ini untuk meningkatkan kelengkapan strategi pengelolaan limbah dan berkontribusi pada tujuan pembangunan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Analisis komprehensif terhadap kutipan utama dan kemunculan kata kunci di bidang teknologi daur ulang dan pengelolaan limbah memberikan wawasan yang berharga mengenai kondisi penelitian saat ini. Karya-karya yang berpengaruh, mulai dari studi tentang polusi plastik di lautan hingga pemeriksaan pemulihan limbah dalam proses industri, menjadi dasar untuk memahami tantangan lingkungan yang kritis. Kemunculan kata kunci menyoroti tema-tema yang lazim seperti limbah elektronik, pengolahan air limbah, dan kebijakan, yang menekankan sifat interdisipliner dari penelitian pengelolaan limbah. Identifikasi istilah yang lebih jarang muncul menandakan area potensial untuk eksplorasi di masa depan, mendorong para peneliti untuk mendalami penilaian siklus hidup dan prinsip-prinsip ekonomi sirkular. Sintesis temuan menggarisbawahi pentingnya pendekatan pengelolaan sampah yang holistik dan berkelanjutan yang mempertimbangkan seluruh siklus hidup material. Seiring dengan perkembangan bidang ini, wawasan yang diperoleh dari analisis ini dapat menginformasikan keputusan strategis, memandu perumusan kebijakan, dan berkontribusi pada upaya yang sedang berlangsung menuju masa depan yang lebih berkelanjutan dan sadar lingkungan.

REFERENSI

- Ahmed, M. I. B., Alotaibi, R. B., Al-Qahtani, R. A., Al-Qahtani, R. S., Al-Hetela, S. S., Al-Matar, K. A., Al-Saqer, N. K., Rahman, A., Saraireh, L., & Youldash, M. (2023). Deep Learning Approach to Recyclable Products Classification: Towards Sustainable Waste Management. *Sustainability*, 15(14), 11138.
- Beesigamukama, D., Gómez-Brandón, M., & Tanga, C. M. (2023). Potential of entomocomposting toward soil pathogen suppression. *Fate of Biological Contaminants During Recycling of Organic Wastes*, 47–70.
- Budiman, D., Iskandar, Y., & Jasuni, A. Y. (2022). Millennials' Development Strategy Agri-Socio-Preneur in West Java. *International Conference on Economics, Management and Accounting (ICEMAC 2021)*, 315–323.
- Budjav, B. (2022). *Evaluation of Environmental Pollution and Waste Management Strategies on the Ecosystem*.
- Crook, B. (2023). 147 Keynote: Bioaerosols Associated with Waste and Recycling—Balancing the Circular Economy with Occupational Health and Safety. *Annals of Work Exposures and Health*, 67(Supplement_1), i1–i2.
- Duodu, M. G., Singh, B., & Christina, E. (2022). Waste management through bioremediation technology: An eco-friendly and sustainable solution. In *Relationship Between Microbes and the Environment for Sustainable Ecosystem Services, Volume 2* (pp. 205–234). Elsevier.
- Fuchs, M. C., Lorenz, S., Madriz Diaz, Y. C., Abend, T., Shaik Fareedh, J., de Lima Ribeiro, A., Arbash, E., Rasti, B., Beyer, J., & Röder, C. (2023). How can agile sensing improve recycling stream characterisation and monitoring for e-waste?-news from the HELIOS lab. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, EGU-12298.
- Iskandar, Y., Joeliaty, J., Kaltum, U., & Hilmiana, H. (2021). Bibliometric Analysis on Social

- Entrepreneurship Specialized Journals. *Journal: WSEAS TRANSACTIONS ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT*, 941–951. <https://doi.org/10.37394/232015.2021.17.87>
- Iskandar, Y., & Sarastika, T. (2023). Study of Socio-Economic Aspect and Community Perception on The Development of The Agricultural Area Shrimp Ponds in Pasir mendit and Pasir Kadilangu. *West Science Journal Economic and Entrepreneurship*, 1(01), 28–36.
- Kong, J., Chua, G. A., & Yang, F. (2023). Firms' cooperation on recycling investments in a three-echelon reverse supply chain. *International Journal of Production Economics*, 108959.
- Loizia, P., Inglezakis, V., Navarro-Pedreño, J., Lasaridi, K., & Zorpas, A. A. (2019). Benchmarking indicators to assess the level of circular economy strategy in local level. *16th International Conference on Environmental Science and Technology*, 4(7).
- Mesquita, J. L. C., Gutberlet, J., de Araujo, K. P., Cruvinel, V. R. N., & Duarte, F. H. (2023). Greenhouse Gas Emission Reduction Based on Social Recycling: A Case Study with Waste Picker Cooperatives in Brasília, Brazil. *Sustainability*, 15(12), 9185.
- Nainwal, P. (n.d.). Environmental Impact and Sustainable Solutions for Pharmaceutical Waste Management: An Empirical Investigation. *European Journal of Molecular & Clinical*, 5(01), 2018.
- Rusmayadi, G., Supriandi, S., & Pahrijal, R. (2023). Trends and Impact of Sustainable Energy Technologies in Mechanical Engineering: A Bibliometric Study. *West Science Interdisciplinary Studies*, 1(09), 831–841.
- Sahajwalla, V., & Hossain, R. (2023). Rethinking circular economy for electronics, energy storage, and solar photovoltaics with long product life cycles. *MRS Bulletin*, 1–11.
- Tabaghchi Milan, S., Darbandi, M., Jafari Navimipour, N., & Yalcın, S. (2023). An Energy-Aware Load Balancing Method for IoT-Based Smart Recycling Machines Using an Artificial Chemical Reaction Optimization Algorithm. *Algorithms*, 16(2), 115.
- Tembhare, S., & Bhanvase, B. A. (2023). Technological development in metal extraction processes from e-waste. In *360-Degree Waste Management, Volume 2* (pp. 221–253). Elsevier.
- Trinandari Prasetyo Nugrahanti, N. (2020). *Dysfunctional Audit Behavior and Sign Off Premature Audit Procedures: Case Study of Jakarta Public Accounting Firm*.
- Unegg, M. C., Steininger, K. W., Ramsauer, C., & Rivera-Aguilar, M. (2023). Assessing the environmental impact of waste management: A comparative study of CO₂ emissions with a focus on recycling and incineration. *Journal of Cleaner Production*, 137745.
- Xu, P., Tan, D. H. S., Jiao, B., Gao, H., Yu, X., & Chen, Z. (2023). A Materials Perspective on Direct Recycling of Lithium-Ion Batteries: Principles, Challenges and Opportunities. *Advanced Functional Materials*, 2213168.
- Yadav, P., Singh, J., Srivastava, D. K., & Mishra, V. (2021). Environmental pollution and sustainability. In *Environmental sustainability and economy* (pp. 111–120). Elsevier.