

Plastic Waste Management As An Alternative Energy Source To Support Sustainable Development Goals And Environmental Ethics: A Systematic Literatur Review

Siti Fatimah^{1*}, Aditya Marianti², Margareta Rahayuningsih³

¹ Program Doktor Pendidikan IPA Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang, Indonesia

¹ Institut Agama Islam Nahdlatul Ulama Kebumen, Indonesia

^{2,3} Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Received: 30 March 2024

Revised: 08 April 2024

Accepted: 30 April 2024

Corresponding Author:

Siti Fatimah

Sitifatimah2023@students.unnes.ac.id

© 2024 Kappa Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License



DOI:

<https://doi.org/10.29408/kpj.v8i1.25588>

Abstract: This research aims to analyze the management of plastic waste as an alternative energy source in supporting SGDs and forming environmental ethics through systematic literature review and bibliometric analysis. Trend analysis is used to determine the extent of research on plastic waste management from 2020 to 2023. Additionally, the study of environmental ethics is analyzed to understand the extent to which plastic waste can be utilized as an alternative energy source. This study utilizes Bibliometrix software with R programming and VOSviewer. Qualitative methods and techniques are adopted to review literature published from 2020 to 2023. Literature search was conducted in February-March 2024 through the Scopus database. The research was conducted using the keywords (plastic AND waste AND management AND energy), resulting in 1,035 documents from 2020 to 2023. Then, the obtained documents were filtered to include only those in English, at the final stage, and open access, resulting in 302 documents. Further analysis was conducted to assess their relevance to the research topic, resulting in 211 documents. The data were documented in (.csv) format and analyzed using VOSViewer and Biblioshiny applications. The research indicates that the trend in research on managing plastic waste as a renewable energy source has significantly increased. The majority of opportunities for plastic waste as an alternative energy source involve converting plastic waste into biogas. The management of plastic waste is one form of environmental ethics.

Keywords: plastic waste management; alternative energy sources; SDGs; environmental ethics.

Pendahuluan

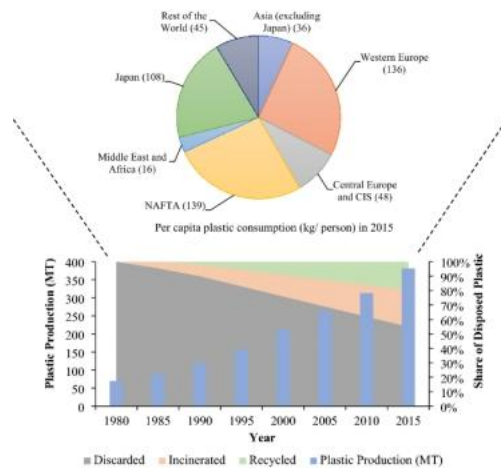
Plastik merupakan salah satu polutan yang paling parah di dunia (Wang et al., 2022). Diinformasikan estimasi limbah sampah plastik di seluruh dunia adalah mencapai 3×10^8 ton per tahun (Aizudin et al., 2022; Ritchie & Roser, 2018) dan akan diperkirakan meningkat sebesar 70% pada tahun 2050 (Evode et al., 2021; Miandad et al., 2016). Peningkatan jumlah produksi sampah plastik ini mengalami peningkatan pesat dari 2 MT di tahun 1950 menjadi

lebih dari 454 MT di tahun 2018 (Lusher et al., 2017). Sekitar 9,7 MT diproduksi pada tahun 1950 sampai 1980 dan akan meningkat dua kali lipat pada tahun 2025 dan tiga kali lipat pada tahun 2050 (Lusher et al., 2017). Sehingga, berdasarkan data dan tren produksi saat ini, aktivitas manusia diproyeksikan menghasilkan 26 miliar ton sampah plastik di tahun 2050 (Lavoie et al., 2022). Diperkirakan sekitar 343 MT sampah plastik dihasilkan setiap tahun (Geyer, 2020). Limbah ini telah tersebar dari berbagai negara, di Amerika Utara limbah

How to Cite:

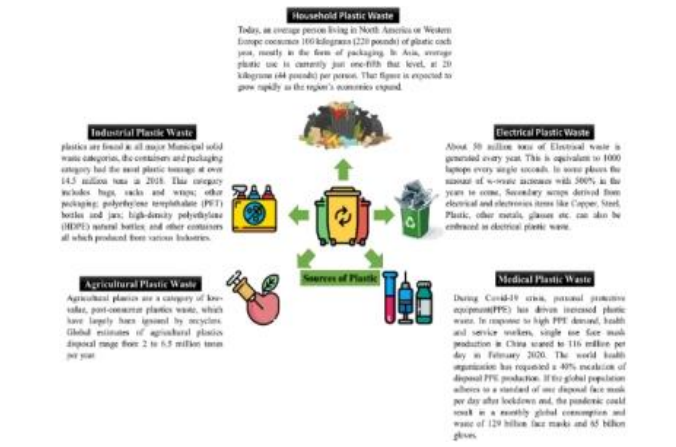
Fatimah, S., Marianti, A., & Rahayuningsih, M. (2024). Plastic Waste Management as a Alternative Energy Source to Support Sustainable Development Goals and Environmental Ethics: A Systematic Literatur Review. *Kappa Journal*, 8(1), 75-84. <https://doi.org/10.29408/kpj.v8i1.25588>

ini mencapai 35 MT, di Eropa dan Asing Tengah mencapai 45 MT, dan kawasan Asia Timur dan Pasifik menghasilkan limbah 57 MT (Kibria et al., 2023).



Gambar 1. Gambaran tentang produksi, konsumsi, dan pembuangan plastik

Permasalahan tentang limbah plastik menjadi satu permasalahan sampah yang serius di dunia karena menyebabkan kerusakan lingkungan yaitu menghasilkan polusi dalam skala yang besar (Dėdek et al., 2023). Tidak hanya sampah plastik dari rumah tangga, namun dari sumber lain seperti industri, kesehatan, pertanian juga menjadi sumber penghasil sampah plastik yang besar. Meskipun limbah sampah plastik telah didaur ulang, namun hanya 9% sampah plastik yang di daur ulang sementara sisnya tidak dikelola dengan baik, seperti hanya dibakar dan ditimbun (OECD, 2023). Banyaknya limbah sampah plastik di dunia diperkirakan bertanggung jawab atas 4,5% emisi gas rumah kaca secara global (Cabernard et al., 2021). Selain itu, pembuangan plastik yang berlebihan akan mempercepat permasalahan lingkungan, menyebabkan kerusakan yang parah pada lingkungan, dan mengganggu kesehatan manusia (Ragaert et al., 2017). Alih-alih dibakar secara langsung, limbah plastik yang dibakar akan melepaskan enam belas senyama hidrokarbon polisklik aromatik ke lingkungan yang berdampak kepada kesehatan manusia seperti kanker, penyakit pernafasan, dan obesitas bagi anak-anak yang menghirupnya (Praveenkumar et al., 2024).



Gambar 2. Sumber Sampah Plastik Secara Global (Kibria et al., 2023)

Adanya berbagai permasalahan tentang lingkungan yang disebabkan oleh limbah plastik menjadi perhatian komunitas internasional sehingga aspek lingkungan hidup menjadi program penting dalam tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable development goals/SDGs*). SDGs merupakan perjanjian pembangunan baru yang mendorong perubahan untuk beralih ke arah berkelanjutan pembangunan berdasarkan hak asasi manusia dan kesetaraan memajukan sosial, ekonomi, dan lingkungan hidup berkelanjutan (Salim & Palullungan, 2021). Untuk mewujudkan SDGs, diperlukan pengembangan dan sistem pembuangan yang aman dengan resiko yang minimal sehingga terjaga kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Hal ini juga telah tertuang dalam Perjanjian Paris bahwa untuk mengatasi perubahan iklim dan dampak negatif yang ditimbulkan, masyarakat di dunia bekerjasama untuk mengurangi gas emisi rumah kaca yang menjadi penyebab utama perubahan iklim di bumi (United Nations, 2015). Komitmen yang terjalin menjadi tanggung jawab bersama di berbagai lapisan masyarakat untuk bekerja bersama-sama mengatasi perubahan iklim yang terjadi. Oleh sebab itu, pemahaman akan pentingnya menjaga lingkungan melalui etika lingkungan menjadikan individu lebih menghargai akan kelestarian lingkungan.

Etika lingkungan menjadi sikap yang sangat penting untuk dimiliki oleh setiap individu. Terlebih dalam rangka menjaga lingkungan yang berkelanjutan, memberikan pemahaman kepada generasi masa depan yang berwawasan lingkungan menjadi suatu keharusan (Samur & Akman, 2023). Etika lingkungan hidup menjadi landasan konseptual yang berhubungan dengan sistem ekologi dan keanekaragaman hayati serta isu-isu yang ada disekitarnya, dan sikap atau kebijakan masyarakat untuk menjaga dan mempertahankan nilai-nilai lingkungan (Ogiemwonyi

& Jan, 2023). Adanya hubungan moral antara manusia dan lingkungan telah menjadikan lingkungan menjadi lebih hijau. Etika lingkungan menawarkan perspektif yang berharga untuk menganalisis hubungan antara komponen sosial (manusia) dan ekosistem yang meyakini bahwa ekosistem adalah bagian dari komponen sosial yang didalamnya terdapat nilai-nilai dan hak-hak kedua belah pihak (De Wet & Odume, 2019).

Berkaitan dengan adanya etika lingkungan, permasalahan limbah plastik dapat diantisipasi dengan mengolahnya menjadi sumber energi terbarukan. Praveenkumar, dkk mengkaji tentang metode pirolisis sebagai teknik yang dapat digunakan untuk mengelola limbah plastik. Dengan bantuan gelombang mikro, sampah plastik dapat diolah menjadi energi. Melalui pengoptimalan suhu reaktor, kemungkinan gas yang dihasilkan dari sampah plastik dapat diatasi (Praveenkumar et al., 2024). Tashima, dkk menghasilkan temuan tentang pengelolaan sampah plastik laut melalui karbon aktif. Dengan proses pembakaran pada suhu 800°C, karbon aktif berbahan dasar sampah plastik dapat dimanfaatkan sebagai bahan elektroda dan superkapasitor (Tashima et al., 2023). Faisal, dkk melakukan riset tentang pengelolaan sampah plastik menjadi biodiesel. Teknik yang digunakan menggunakan penyulingan fraksi solar dari minyak pirolisis plastik yang disebut dengan Distilled Plastic Diesel ditambahkan perlakuan hidro yang dinamakan hydrotreated plastic diesel dan dicampur dengan bahan bakar diesel komersial dengan rasio 15:85 yang selanjutnya didefinisikan sebagai HPD15. Secara keseluruhan, HPD15 dapat menjadi sumber energi alternatif yang cocok untuk bahan bakar diesel tanpa adanya modifikasi mesin apapun (Faisal et al., 2023).

Banyak penelitian di dunia yang telah mengkaji tentang pengelolaan sampah plastik menjadi sumber energi terbarukan. Di negara Thailand telah menghasilkan penyalinan katalitik dari minyak pelumas bekas dan limbah plastik. Metode ini berhasil digunakan untuk menghasilkan bahan bakar seperti diesel dalam reaktif microbatch (Charusiri et al., 2023). Di negara Eropa, telah dikembangkan teknologi yang dapat menangkap dan menyimpan karbon dari limbah sampah plastik yang disebut dengan Carbon capture and storage (CCS). CCS merupakan teknologi pembangkit listrik yang memiliki tenaga bioenergi menggunakan bahan baku biomassa (Bio-CCS) (Aracil et al., 2023). Di negara yang sama yaitu Eropa pengelolaan sampah plastik dimanfaatkan sebagai penyimpan energi seperti baterai dan superkapasitor. Melalui metode pirolisis yaitu mengubah sampah plastik menjadi karbon aktif (Dėdek et al., 2023). Di Polandia, telah dikaji tentang pengelolaan limbah

plastik untuk sumber energi terbarukan. Riset ini menggunakan metode pirolisis sebagai metode yang efektif untuk mengubah limbah plastik menjadi sumber energi terbarukan. Dengan menerapkan pemisahan bahan baku untuk meminimalkan kandungan polistiren, tingkat pengganti fosil sebesar 40% dapat dicapai dan juga memenuhi semua peraturan emisi dan keselamatan untuk mesin diesel (Januszewicz et al., 2023). Dari semua hasil riset, telah dikaji bagaimana peluang limbah plastik dapat dijadikan berbagai jenis sumber energi alternatif. Seperti penggunaan teknologi yang semakin berkembang menjadi salah satu peluang besar dalam hal pengelolaan sampah plastik. Sehingga pengelolaan limbah plastik menjadi bahan kajian yang perlu digali lebih mendalam sebagai bentuk rekomendasi bagi pemangku kepentingan kebijakan dalam rangka mengimplementasikan etika lingkungan.

Pertanyaan Penelitian

Penelitian ini fokus pada menganalisis literatur tentang pengelolaan sampah plastik di tahun 2020-2023 dengan enam pertanyaan penelitian, yaitu:

- Sejauh mana profil keluaran publikasi riset pengelolaan sampah plastik di tahun 2020-2023?
- Sejauh mana sebaran publikasi riset pengelolaan sampah plastik di tahun 2020-2023 antar negara dan afiliasi di dunia?
- Siapa penulis utama/paling produktif dalam penelitian riset pengelolaan sampah plastik di tahun 2020-2023 di dunia?
- Bagaimana visualisasi hasil tren riset riset pengelolaan sampah plastik di tahun 2020-2023?
- Bagaimana pengelolaan sampah plastik di tahun 2020-2023 di dunia sebagai bentuk etika menjaga lingkungan?

Metode

Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan bantuan software Bibliometrix dengan pemograman R dan VOSviewer. Metode dan teknik kualitatif diadopsi untuk meninjau literatur yang terbit di tahun 2020-2023.

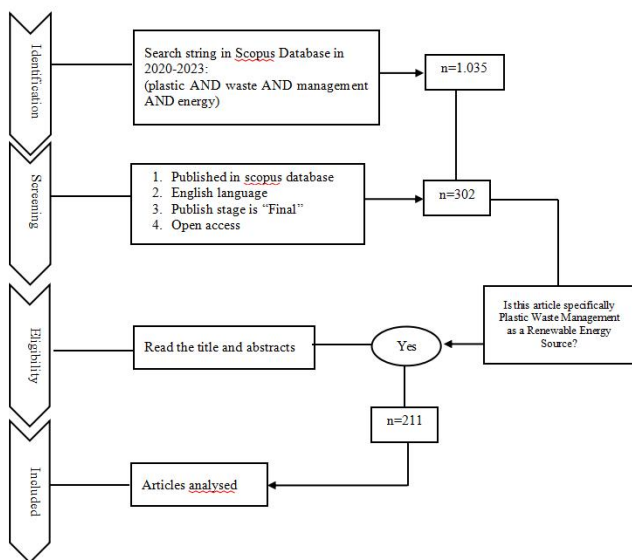
Pengumpulan Data

Pengambilan data literatur menggunakan database Scopus. Scopus merupakan salah satu sumber data yang berkualitas sehingga menjadi pertimbangan dalam pemilihan dokumen (Wei et al., 2023). Pemilihan data dilakukan dengan menggunakan metode PRISMA (Arabi et al., 2023). Metode ini terdiri dari empat tahap yaitu identifikasi, screening, eligibility, dan included. Tahap pertama (identifikasi), artikel diidentifikasi dari database, dalam penelitian ini adalah database Scopus. Tahap kedua (screening), yaitu artikel dianalisis dan dipastikan berasal dari database scopus dan sesuai dengan topik penelitian. Tahap ketiga

(eligibility) merupakan tahap analisis secara cermat dikaji dari judul, abstrak, kata kunci yang terkait dengan topik penelitian. Tahap terakhir (included), artikel yang tidak sesuai dengan topik penelitian dihilangkan kemudian sisa artikel yang terpilih menjadi data yang akan dianalisis dalam penelitian. Tinjauan sistematis ini menggunakan bibliometrik (lihat gambar 3) yang diadaptasi dari Kulakli & Osmanaj; Yang, dkk; Bonilla-Chaves & Palos-Sánchez; Wei, dkk (Bonilla-Chaves & Palos-Sánchez, 2023; Kulakli & Osmanaj, 2020; Wei et al., 2023; Yang et al., 2017).

Teknik Analisis Data

Pencarian literatur dilakukan pada bulan Februari-Maret 2024 melalui database Scopus. Penelitian ini dilakukan dengan kata kunci (plastic AND waste AND management AND energy) didapatkan 1.035 dokumen di tahun 2020-2023. Kemudian dokumen yang sudah didapatkan dibatasi yang menggunakan bahasa inggris, dokumen pada tahap final, dan open akses sehingga didapatkan 302 dokumen. Selanjutnya dianalisis relevansinya dengan topik penelitian sehingga didapatkan 211 dokumen. Data didokumentasikan dalam bentuk (.csv) yang kemudian dianalisis dengan menggunakan aplikasi VOSViewer dan Biblioshiny.



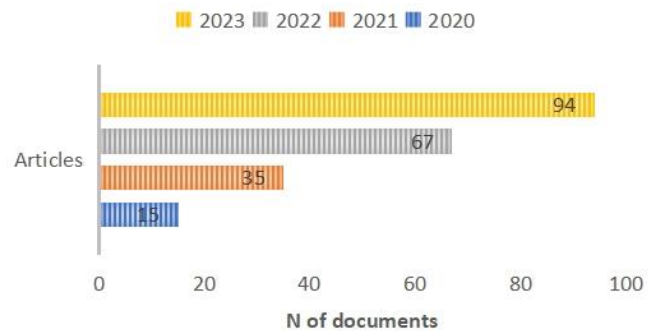
Gambar 3. Langkah Pencarian Dokumen dalam Systematic Literature Review

Hasil dan Pembahasan

Profil keluaran publikasi riset pengelolaan sampah plastik di dunia tahun 2020-2023

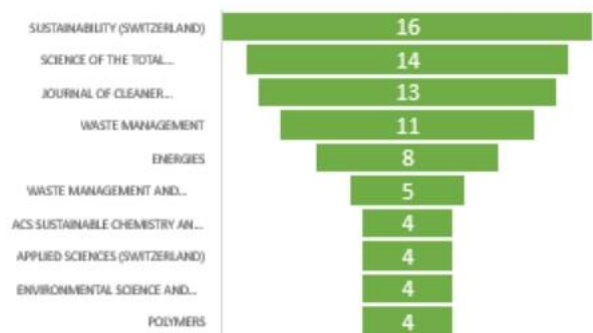
Hasil penelusuran artikel ilmiah yang relevan dengan penelitian tentang pengelolaan sampah plastik di dunia di database Scopus didapatkan 211 dokumen.

Gambar 4 dan gambar 5 menjelaskan profil keluaran riset pada tema tersebut.



Gambar 4. Jumlah dokumen penelitian tentang pengelolaan sampah plastik di tahun 2020-2023

Gambar 4 menjelaskan tentang riset tentang pengelolaan sampah plastik khususnya sebagai sumber energi terbaruka selalu mengalami peningkatan. Khususnya di tahun 2023 ini riset tentang topik tersebut berjumlah 94 dokumen. Hal ini membuktikan bahwa riset tentang pengelolaan sampah plastik masih menjadi topik yang menarik untuk diteliti lebih mendalam dan diperkirakan akan selalu meningkat di tahun selanjutnya. Hal ini dikarenakan, telah banyak masyarakat yang memiliki pemahaman tentang bahayanya polusi yang ditimbulkan oleh sampah plastik, khususnya bagi para peneliti di dunia (Arbabi et al., 2023; Charusiri et al., 2023; Tashima et al., 2023).



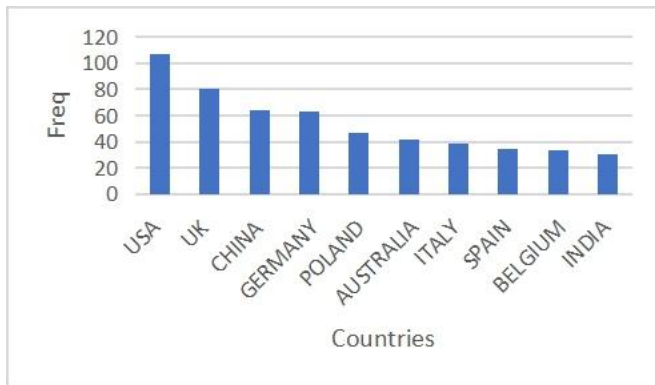
Gambar 5. Sebaran publikasi penelitian pengelolaan sampah di tahun 2020-2023

Gambar 5 menunjukkan bahwa sumber dari sustainability (wsitzerland) menjadi sumber yang paling produktif dalam mempublikasikan riset tema pengelolaan sampah plastik menjadi sumber energi terbarukan yaitu sebanyak 16 dokumen. Sumber dari science of the total environment menduduki peringkat kedua yaitu sebanyak 14 dokumen, dan disusul dari

journal of cleaner production menduduki peringkat ketiga dengan jumlah 13 dokumen.

Sebaran publikasi riset pengelolaan sampah plastik sebagai sumber energi terbarukan di tahun 2020-2023 antar negara dan afiliasi di dunia

Berdasarkan jumlah dokumen antar negara, terlihat jelas negara Amerika Serikat menduduki peringkat pertama disusul oleh Spanyol dan Indonesia dengan peringkat kedua dan ketiga yang juga mengalami peningkatan tren di topik tersebut. Gambar 6 adalah visualisasi negara terproduktif menghasilkan penelitian di topik pengelolaan sampah plastik sebagai energi terbarukan.



Gambar 6. Sepuluh negara terproduktif tentang penelitian pengelolaan sampah tahun 2020-2023

Gambar 6 menunjukkan bahwa negara USA menjadi negara terproduktif dalam melakukan riset tentang pengelolaan sampah sebagai sumber energi terbarukan yaitu berjumlah 107 penelitian. Disusul oleh UK dan China sebagai negara terproduktif kedua dan ketiga.

Tabel 1. Afiliasi Terproduktif

Affiliation	Articles
NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY	17
KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY (KIT)	15
GHENT UNIVERSITY	14
UTRECHT UNIVERSITY	13
CZESTOCHOWA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	12
TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK	12
UNIVERSITY OF ANTWERP	11

BOSTON COLLEGE	10
LUT UNIVERSITY	10
RMIT UNIVERSITY	10

Tabel 1 menunjukkan bahwa Nanyang Technological University menjadi afiliasi terproduktif dalam riset tentang pengelolaan sampah plastik sebagai sumber energi terbarukan dengan 17 artikel. Disusul oleh Karlsruhe Institute of Technology (KIT) dan Ghent University menjadi afiliasi terproduktif kedua dan ketiga.

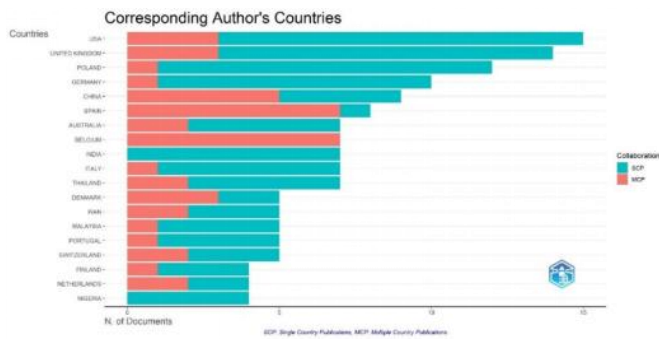
Penulis Terproduktif tentang pengelolaan sampah plastik di tahun 2020-2023

Dalam hal penulis paling produktif meneliti tentang topik tersebut, Tabel 2 menunjukkan jumlah penulis yang memproduksi paling banyak terkait topik tersebut. Whang S menjadi penulis paling produktif dalam penelitian di topik tersebut yaitu berjumlah 5 dokumen artikel, disusul oleh Zhang Y dan Beckham GT sebagai penulis kedua dan ketiga terproduktif.

Tabel 2. Sepuluh Penulis Produktif Tentang Riset Pengelolaan Sampah

Authors	Articles
WANG S	5
ZHANG Y	4
BECKHAM GT	3
BILLEN P	3
JUNGINGER M	3
LONDO M	3
STAPF D	3
STEGMANN P	3
TSANG DCW	3
WANG X	3

Ditinjau dari penulis yang melakukan kolaborasi antara berbagai negara, penulis dari negara Spanyol dan Belgia menjadi penulis yang paling produktif berkolaborasi tentang topik penelitian ini yaitu ditandai dengan warna orange (*Multiple Country Publication/MCP*) seperti yang terlihat pada gambar 7. Sedangkan gambar warna hijau merupakan penelitian yang dilakukan oleh satu negara dimana USA menjadi negara yang paling dominan.



Gambar 7. Kolaborasi antar penulis dari berbagai negara

Tabel 3 menjelaskan lebih detail jumlah penelitian yang dilakukan oleh peneliti di dunia baik yang dilakukan oleh satu negara atau oleh berbagai negara.

Tabel 3. Jumlah penelitian kolaborasi antar negara

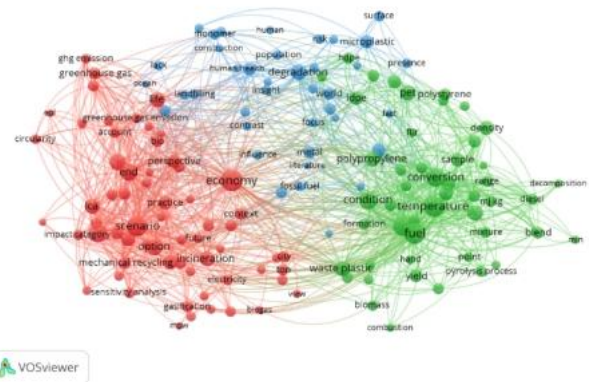
Country	Articles	SCP	MCP
USA	15	12	3
UNITED KINGDOM	14	11	3
POLAND	12	11	1
GERMANY	10	9	1
CHINA	9	4	5
SPAIN	8	1	7
AUSTRALIA	7	5	2
BELGIUM	7	0	7
INDIA	7	7	0
ITALY	7	6	1

*MCP (Multiple Country Publication) *SCP (Single Country Publication)

Tabel 3 menunjukkan bahwa Spanyol dan Belgia menjadi dua negara yang paling banyak melakukan kolaborasi antar berbagai negara dengan masing-masing sebanyak 7 publikasi penelitian. Selanjutnya disusul oleh penulis dari negara China dan USA sebagai penulis kedua dan ketiga yang melakukan banyak kolaborasi. Ditinjau dari penelitian kolaborasi yang dilakukan dengan satu negara, penulis di USA menjadi penulis paling produktif melakukan kolaborasi dengan negaranya yaitu sebanyak 12 publikasi penelitian. Disusul oleh penulis dari UK dan Polandia menduduki peringkat kedua dan ketiga yang produktif dalam melakukan penelitian kolaborasi dengan negaranya yaitu sebanyak 11 artikel.

Visualisasi hasil tren riset tentang pengelolaan sampah plastik di tahun 2020-2023

Berdasarkan hasil analisis 211 artikel terkait dengan penelitian pengelolaan sampah sebagai sumber energi terbarukan di tahun 2020-2023 yang ada di database Scopus, peneliti menggunakan aplikasi VOSViewer. Gambar 8 menunjukkan gambaran keseluruhan penelitian tentang topik tersebut. Para peneliti di dunia menghasilkan tiga kluster (merah, hijau, dan biru). Kluster pertama (warna merah) pengelolaan sampah dikaitkan dengan bidang ekonomi, emisi gas rumah kaca, green house, biogas, dan lain-lain. Kluster kedua (hijau) berkaitan dengan suhu, diesel, biomassa, dan sebagainya. Kluster ketiga (biru) berkaitan dengan microplastic, fossil fuel, human health, dan sebagainya.



Gambar 8. Jejaring tematik penelitian pengelolaan sampah plastik di tahun 2020-2023

Gambar 8 menjelaskan bahwa sampah plastik memiliki banyak keterkaitan dengan biogas dan biomassa. Selain itu, juga memiliki keterkaitan dengan green house dan human health. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan sampah plastik di tiga tahun ini banyak dikelola menjadi sumber energi alternatif seperti biogas (Ali et al., 2023; Aracil et al., 2023; Stegmann et al., 2023). Disisi lain, pengelolaan limbah plastik dapat menjadi sumber daya dan ekonomi sirkular. Ekonomi sirkular merupakan sistem ekonomi yang memiliki tujuan untuk menghasilkan pertumbuhan ekonomi dengan mempertahankan nilai produk dan bahan serta sumber daya yang bertahan lebih lama dan mengurangi dampak dari adanya kerusakan lingkungan. Dengan adanya konsep ekonomi sirkular ini mampu mengefisienkan sumber daya dan mengurangi emisi karbon yang dihasilkan dari limbah-limbah sampah yaitu sebanyak 50% (Almadhi et al., 2023; Ghosh, 2018; Liu et al., 2023).

Pengelolaan sampah plastik di dunia tahun 2020-2023 sebagai bentuk etika dalam menjaga lingkungan

Pengelolaan sampah merupakan salah satu bentuk etika dalam menjaga lingkungan. Berdasarkan analisis literatur, telah banyak negara yang melakukan

riset tentang pengelolaan sampah plastik khususnya menjadi sumber energi terbarukan. Berkaitan dengan etika lingkungan, pengelolaan sampah telah menjadi sikap dan moral yang baik sebagai bentuk penjagaan terhadap lingkungan. Melalui pengelolaan sampah, masyarakat telah memiliki etika yang baik terhadap lingkungan. Tabel 4 adalah pengelolaan sampah plastik berdasarkan tinjauan analisis literatur.

Tabel 4. Pengelolaan sampah plastik sebagai sumber energi ditinjau dari literatur tahun 2020-2023

No	Pengelolaan Sampah Plastik	Tahun Publikasi	Hasil Energi
1	<ul style="list-style-type: none"> a. Melalui karbon aktif sampah plastik dapat digunakan sebagai bahan elektroda dan superkapasitor (Dėdek et al., 2023; Tashima et al., 2023) b. Pyrolysis/gasification (Charusiri et al., 2023) c. Polihidroksialkanat (PHA) (Ali et al., 2023) d. Pengelolaan plastik menggunakan bahan baku biomassa (Bio-CCS) (Aracil et al., 2023; Stegmann et al., 2023) e. Pengelolaan plastik melalui perlakuan termokimia tingkat lanjut (ATT) (Arena et al., 2023) f. Pengelolaan plastik melalui katalis mesh baja tahan karat multilapis monolitik (Liu et al., 2023; Mirjalili et al., 2023) g. Pengelolaan sampah plastik melalui analisis fisiko-kimia dan termal (Dodo & Ashigwuike, 2023) 	2023	<ul style="list-style-type: none"> a. bahan elektroda dan superkapasitor b. bahan bakar diesel sebagai reaktor microbatch c. sumber energi listrik dan biodisel d. menjadi bioenergi/biomassa e. menjadi energi seperti diubah menjadi minyak, hidrogen, metana, dan sebagainya. f. menjadi baterai lithium-ion g. menjadi energi pembangkit listrik
2	<ul style="list-style-type: none"> a. Pengelolaan 	2022	<ul style="list-style-type: none"> a. menjadi

	<ul style="list-style-type: none"> sampah plastik (masker) melalui reaktor pirolisis (Skrzyniarz et al., 2022) b. Pengelolaan sampah plastik melalui sitensis graphene nanosheets (GNs) (Karakoti et al., 2022) c. Pengelolaan sampah plastik melalui proses termal (Kijoleczkowska & Gnatowski, 2022) 		<ul style="list-style-type: none"> sumber energi b. menjadi superkapasitor c. menjadi bahan bakar dan sumber energi
3	<ul style="list-style-type: none"> a. Pengelolaan sampah plastik melalui reaktor pirolisis (Lameh et al., 2021) b. Pengelolaan sampah plastik melalui metode pirolisis dan gasifikasi (Antelava et al., 2021) 	2021	<ul style="list-style-type: none"> a. menjadi sumber energi surya b. menjadi sumber energi berupa minyak

Kesimpulan

Penelitian menunjukkan bahwa tren riset tentang pengelolaan limbah plastik menjadi sumber energi terbarukan mengalami peningkatan yang signifikan. Peluang limbah plastik menjadi sumber energi alternatif mayoritas dengan mengubah limbah plastik menjadi biogas. Adanya pengelolaan limbah plastik yang baik menjadikan etika lingkungan yang baik. Kajian ini bisa menjadi rekomendasi bagi pemangku kepentingan akan pentingnya pengelolaan limbah plastik sebagai bentuk dari etika lingkungan. Etika ekosentris menjadi bentuk etika lingkungan yang memiliki kedudukan tertinggi. Kaitannya dengan pengelolaan sampah, adanya etika ekosentris tidak hanya memfokuskan kepada pengelolaan limbah plastik yang dapat menghasilkan sumber energi alternatif, namun penggunaan teknologi yang ramah lingkungan menjadi fokus dalam etika ekosentris ini.

Daftar Pustaka

Aizudin, M., Goei, R., Ong, A. J., Tan, Y. Z., Lua, S. K., Poolamuri Pottammel, R., Geng, H., Wu, X.-L., Yoong Tok, A. L., & Ang, E. H. (2022). Sustainable development of graphitic carbon nanosheets from plastic wastes with efficient photothermal energy

- conversion for enhanced solar evaporation. *Journal of Materials Chemistry A*, 10(37), 19612–19617. <https://doi.org/10.1039/D2TA02092K>
- Ali, N., Rashid, M. I., Rehan, M., Shah Eqani, S. A. M. A., Summan, A. S. A., Ismail, I. M. I., Koller, M., Ali, A. M., & Shahzad, K. (2023). Environmental evaluation of polyhydroxyalkanoates from animal slaughtering waste using Material Input Per Service Unit. *New Biotechnology*, 75, 40–51. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2023.03.004>
- Almadhi, A., Abdelhadi, A., & Alyamani, R. (2023). Moving from Linear to Circular Economy in Saudi Arabia: Life-Cycle Assessment on Plastic Waste Management. *Sustainability*, 15(13), 10450. <https://doi.org/10.3390/su151310450>
- Antelava, A., Jablonska, N., Constantinou, A., Manos, G., Salaudeen, S. A., Dutta, A., & Al-Salem, S. M. (2021). Energy Potential of Plastic Waste Valorization: A Short Comparative Assessment of Pyrolysis versus Gasification. *Energy & Fuels*, 35(5), 3558–3571. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c04017>
- Aracil, C., Villanueva Perales, Á. L., Giuntoli, J., Cristóbal, J., & Haro, P. (2023). The Role of Renewable-Derived Plastics in the Analysis of Waste Management Schemes: A Time-Dependent Carbon Cycle Assessment. *Sustainability*, 15(12), 9292. <https://doi.org/10.3390/su15129292>
- Arbabi, A., Gholami, M., Farzadkia, M., & Djalalinia, S. (2023). Microplastics removal technologies from aqueous environments: A systematic review. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 21(2), 463–473. <https://doi.org/10.1007/s40201-023-00872-z>
- Arena, U., Parrillo, F., & Ardolino, F. (2023). An LCA answer to the mixed plastics waste dilemma: Energy recovery or chemical recycling? *Waste Management*, 171, 662–675. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.10.011>
- Bonilla-Chaves, E. F., & Palos-Sánchez, P. R. (2023). Exploring the Evolution of Human Resource Analytics: A Bibliometric Study. *Behavioral Sciences*, 13(3), 244. <https://doi.org/10.3390/bs13030244>
- Cabernard, L., Pfister, S., Oberschelp, C., & Hellweg, S. (2021). Growing environmental footprint of plastics driven by coal combustion. *Nature Sustainability*, 5(2), 139–148. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00807-2>
- Charusiri, W., Phowan, N., Permponwivat, A., & Vitidsant, T. (2023). Catalytic Copyrolysis of Used Waste Plastic and Lubricating Oil Using Cu-Modification of a Spent Fluid Catalytic Cracking Catalyst for Diesel-like Fuel Production. *ACS Omega*, 8(43), 40785–40800. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c05823>
- De Wet, C., & Odume, O. N. (2019). Developing a systemic-relational approach to environmental ethics in water resource management. *Environmental Science & Policy*, 93, 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.030>
- Dědek, I., Bartusek, S., Dvořáček, J. J., Nečas, J., Petruš, J., Jakubec, P., Kupka, V., & Otyepka, M. (2023). Maximizing the electrochemical performance of supercapacitor electrodes from plastic waste. *Journal of Energy Storage*, 72, 108660. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108660>
- Dodo, U. A., & Ashigwuike, E. C. (2023). In-depth physico-chemical characterisation and estimation of the grid power potential of municipal solid wastes in Abuja city. *Energy Nexus*, 10, 100192. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100192>
- Evode, N., Qamar, S. A., Bilal, M., Barceló, D., & Iqbal, H. M. N. (2021). Plastic waste and its management strategies for environmental sustainability. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100142. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100142>
- Faisal, F., Rasul, M. G., Chowdhury, A. A., Jahirul, M. I., & Hazrat, M. A. (2023). Performance and emission characteristics of a CI engine with post-treated plastic pyrolysis oil and diesel blend. *Energy Reports*, 9, 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.09.142>
- Geyer, R. (2020). Production, use, and fate of synthetic polymers. In *Plastic Waste and Recycling* (pp. 13–32). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00002-5>
- Ghosh, R. (2018). The potential of the ERC program for combating violent extremism among youth. *Religion and Education*, 45(3), 370–386. <https://doi.org/10.1080/15507394.2018.1546509>
- Humaida, N. (2020). The importance of ecocentrism to the level of environmental awareness for sustainable natural resources. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 399(1), 012131. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/399/1/012131>

- Januszewicz, K., Hunicz, J., Kazimierski, P., Rybak, A., Suchocki, T., Duda, K., & Mikulski, M. (2023). An experimental assessment on a diesel engine powered by blends of waste-plastic-derived pyrolysis oil with diesel. *Energy*, 281, 128330. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128330>
- Kamil, P. A., Putri, E., & Ridha, S. (2019). Optimalisasi Environmental Literacy Pada Sekolah Adiwiyata di Kota Banda Aceh Untuk Menanamkan Sikap Peduli Lingkungan. *Jurnal Georafflesia*, 4(2), 127–137.
- Karakoti, M., Pandey, S., Tatrari, G., Dhapola, P. S., Jangra, R., Dhali, S., Pathak, M., Mahendia, S., & Sahoo, N. G. (2022). A waste to energy approach for the effective conversion of solid waste plastics into graphene nanosheets using different catalysts for high performance supercapacitors: A comparative study. *Materials Advances*, 3(4), 2146–2157. <https://doi.org/10.1039/D1MA01136G>
- Kibria, Md. G., Masuk, N. I., Safayet, R., Nguyen, H. Q., & Mourshed, M. (2023). Plastic Waste: Challenges and Opportunities to Mitigate Pollution and Effective Management. *International Journal of Environmental Research*, 17(1), 20. <https://doi.org/10.1007/s41742-023-00507-z>
- Kijo-Kleczkowska, A., & Gnatowski, A. (2022). Recycling of Plastic Waste, with Particular Emphasis on Thermal Methods—Review. *Energies*, 15(6), 2114. <https://doi.org/10.3390/en15062114>
- Kulakli, A., & Osmanaj, V. (2020). Global Research on Big Data in Relation with Artificial Intelligence (A Bibliometric Study: 2008-2019). *International Journal of Online and Biomedical Engineering (ijOE)*, 16(02), 31. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v16i02.12617>
- Lameh, M., Abbas, A., Azizi, F., & Zeaiter, J. (2021). A simulation-based analysis for the performance of thermal solar energy for pyrolysis applications. *International Journal of Energy Research*, 45(10), 15022–15035. <https://doi.org/10.1002/er.6781>
- Lavoie, J., Boulay, A., & Bulle, C. (2022). Aquatic micro- and nano-plastics in life cycle assessment: Development of an effect factor for the quantification of their physical impact on biota. *Journal of Industrial Ecology*, 26(6), 2123–2135. <https://doi.org/10.1111/jiec.13140>
- Liu, Q., Jiang, D., Zhou, H., Yuan, X., Wu, C., Hu, C., Luque, R., Wang, S., Chu, S., Xiao, R., & Zhang, H. (2023). Pyrolysis–catalysis upcycling of waste plastic using a multilayer stainless-steel catalyst toward a circular economy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(39), e2305078120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2305078120>
- Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017). *Microplastics in fisheries and aquaculture: Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety*.
- Miandad, R., Barakat, M. A., Aburiazaiza, A. S., Rehan, M., & Nizami, A. S. (2016). Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 102, 822–838. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.06.022>
- Mirjalili, A., Dong, B., Zerrin, T., Akhavi, A.-A., Kurban, M., Ozkan, C. S., & Ozkan, M. (2023). Superporous nanocarbon materials upcycled from polyethylene terephthalate waste for scalable energy storage. *Journal of Energy Storage*, 58, 106329. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106329>
- OECD. (2023). *Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options*. https://www.oecd-ilibrary.org/environment/global-plastics-outlook_de747aef-en
- Ogiewonyi, O., & Jan, M. T. (2023). The correlative influence of consumer ethical beliefs, environmental ethics, and moral obligation on green consumption behavior. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 19, 200171. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200171>
- Praveenkumar, T. R., Sekar, M., Pasupuleti, R. R., Gavurová, B., Arun Kumar, G., & Vignesh Kumar, M. (2024). Current technologies for plastic waste treatment for energy recovery, it's effects on poly aromatic hydrocarbons emission and recycling strategies. *Fuel*, 357, 129379. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129379>
- Ragaert, K., Delva, L., & Van Geem, K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24–58. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2018). *Our World Data*. <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- Salim, A., & Palullungan, L. (2021). The Challenges of Environmental Law Enforcement to Implement SDGs in Indonesia. *International Journal of Criminology and Sociology*, 10, 517–524.
- Samur, H., & Akman, O. (2023). Analysis of Environmental Literacy Levels of Social Studies

- Pre-Service Teachers. *International Journal on Social and Education Sciences*, 5(3), 605–625. <https://doi.org/10.46328/ijsonses.588>
- Setiaji, B., Santoso, P. H., Aziz, K. N., Retnawati, H., & Khairudin, M. (2023). Using Multilevel Modelling to Evaluate Science Literacy and Technology Course of the Indonesian Non-Science Students. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 12(1), 96–111. <https://doi.org/10.15294/jpii.v12i1.41457>
- Setiawan, D., Hidayat, A., Supriyadi, S., & Lestari, W. (2023). Environmental Ethics Policy in Jepara: Optimization of Handicraft Designs from Wood Waste in the Furniture Industry. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 51(5), 392–409. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2023.51.5.392>
- Skrzyniarz, M., Sajdak, M., Zajemska, M., Iwaszko, J., Biniak-Poskart, A., Skibiński, A., Morel, S., & Niegodajew, P. (2022). Plastic Waste Management towards Energy Recovery during the COVID-19 Pandemic: The Example of Protective Face Mask Pyrolysis. *Energies*, 15(7), 2629. <https://doi.org/10.3390/en15072629>
- Stegmann, P., Gerritse, T., Shen, L., Londo, M., Puente, Á., & Junginger, M. (2023). The global warming potential and the material utility of PET and bio-based PEF bottles over multiple recycling trips. *Journal of Cleaner Production*, 395, 136426. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136426>
- Tashima, D., Kashio, T., Eguchi, T., Kumagai, S., Tsubota, T., & Madden, J. D. W. (2023). Recycling marine plastic waste to energy storage devices. *Materials Letters: X*, 18, 100193. <https://doi.org/10.1016/j.mlblux.2023.100193>
- United Nations. (2015). *The Paris Agreement*. <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>
- Wang, X., Zhang, R., Li, Z., & Yan, B. (2022). Adsorption properties and influencing factors of Cu(II) on polystyrene and polyethylene terephthalate microplastics in seawater. *Science of The Total Environment*, 812, 152573. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152573>
- Wei, Y., Zhang, Q., Guo, J., & Chen, M. (2023). Learning to teach through noticing: A bibliometric review of teacher noticing research in mathematics education during 2006–2021. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 218. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01718-7>
- Yang, L., Sun, T., & Liu, Y. (2017). A Bibliometric Investigation of Flipped Classroom Research during 2000-2015. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 12(06), 178. <https://doi.org/10.3991/ijet.v12i06.7095>
- Zulfa, V., Hasanah, U., & Utami, P. A. (2021). Environmental ethics analysis on household waste management behaviour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 894(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/894/1/012007>