

# Penerapan *Green Chemistry* di Industri dalam Satu Dekade Terakhir: *Systematic Literature Review* (SLR)

Lintang Rizkyta Ananda<sup>1\*</sup>, Widya Agustina Rusadi<sup>1</sup>, Yusi Meilani<sup>1</sup>, Robby Mubarak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Setia Budhi Rangkasbitung, Indonesia

## ABSTRACT

This research aims to analyze and see an overview of the application of green chemistry in the industry in the last decade, from 2014 to 2024 using a Systematic Literature Review (SLR). Data analysis was conducted using a PRISMA flow diagram to show inclusion activities and data search results. Identified journal articles came from the Springer database. From 42.406 articles spread across 31 scientific disciplines, then one sub-discipline was selected, namely Industrial and Production Engineering. Based on 741 journal articles, 76 articles were obtained by selection and analysis. Several articles that met the inclusion criteria were selected for review. The results obtained from research articles on the application of Green Chemistry in Industry showed significant development and are increasingly becoming a new trend for considering the environmental impacts of the industrial process. Based on the analysis results, the majority of authors regarding the application of Green Chemistry in Industry come from European countries with UK and Poland as the most popular countries. Followed by various countries such as Egypt, Germany, Italy, South Africa, India, Indonesia, the USA, Canada, and others. The highest number of journal articles were published in 2023 with a total of 106 articles and the largest number of article citations was in one article in 2017 with 188 citations. All of the articles were published in the Journal of Clean Technologies and Environmental Policy with the use of renewable energy and alternative materials to reduce negative impacts on the environment as a popular topic through literature study methods, experiments, research and developments, and quantitative techniques.

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan melihat gambaran penerapan kimia hijau atau *Green Chemistry* di Industri dalam satu dekade terakhir, sejak tahun 2014 sampai 2024 dengan menggunakan *Systematic Literature Review* (SLR). Analisis data dilakukan melalui diagram alir PRISMA yang mampu menunjukkan aktivitas inklusi dan hasil pencarian data. Artikel jurnal yang teridentifikasi berasal dari database Springer. Dari 42.406 artikel tersebar di 31 disiplin ilmu dan kemudian dipilih salah satu sub-disiplin ilmu yaitu *Industrial and Production Engineering*. Dari 741 artikel jurnal, dilakukan seleksi dan analisis sehingga diperoleh 76 artikel. Beberapa artikel yang telah memenuhi kriteria inklusi kemudian dipilih untuk ditinjau. Hasil yang diperoleh dari artikel-artikel penelitian penerapan *Green Chemistry* di Industri mengalami perkembangan yang signifikan dan semakin menjadi tren baru bagi dunia industri untuk mulai memperhatikan dampak lingkungan yang dihasilkan. Dari hasil analisis, mayoritas penulis artikel penelitian mengenai penerapan *Green Chemistry* di Industri berasal dari negara-negara eropa, yaitu UK dan Poland sebagai negara terpopulernya. Diikuti oleh berbagai negara seperti Mesir, Jerman, Italia, Afrika Selatan, India, Indonesia, USA, Kanada, dan lain-lain. Jumlah publikasi artikel jurnal terbanyak terdapat pada tahun 2023 dengan total 106 artikel dan jumlah sitasi artikel terbanyak terdapat pada salah satu artikel di tahun 2017 sebanyak 188 sitasi. Seluruh artikel diterbitkan dalam jurnal *Clean Technologies and Environmental Policy* dengan topik populer yaitu penggunaan energi terbarukan dan bahan alternatif untuk mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan melalui metode studi literatur, eksperimen, penelitian pengembangan dan analisis kuantitatif.

## KONTAK

lintangrizkyta@gmail.com

## KATA KUNCI

Green Chemistry, Industry,  
Systematic Literature Review  
(SLR)

## PENDAHULUAN

Pembangunan berkelanjutan atau Sustainable Development Goals (SDGs) telah menjadi salah satu pedoman untuk meningkatkan kesejahteraan global dengan memperhatikan keberlanjutan sosial, lingkungan, dan ekonomi 17 elemen SDGs ini diusulkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada tahun 2015. Hal ini mencakup *clean water and sanitation* (SDG 6), *responsible consumption and production of resources* (SDG 12), dan *actions against climate change* (SDG 13) berkaitan dengan dampak adanya air kotor, limbah beracun, dan perubahan iklim terhadap kesejahteraan

sosial. Saat ini, 40% populasi dunia terkena dampak yang parah (secara negatif) akibat kelangkaan air. Kebocoran bahan kimia beracun dan pemanasan global merupakan penyebab utama dampak negatif seperti polusi air dan kelangkaan air. Oleh karena itu, Dana Iklim Hijau dibentuk berdasarkan Perjanjian Paris yang ditandatangani oleh Uni Eropa dan 174 negara untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (Seo, 2017).

Saat ini, sektor kimia, termasuk industri kimia, menghadapi tantangan besar dalam mencapai proses manufaktur yang lebih ramah lingkungan, terutama dalam hal efisiensi konsumsi bahan baku dan pengurangan limbah (Silvestri et al., 2021). Kimia hijau (*Green Chemistry*) merupakan pendekatan inovatif dan non-regulasi yang berfokus pada keberlanjutan dan bertujuan untuk mencakup keberlanjutan global. Untuk mencapai keberlanjutan memerlukan keseimbangan yang kompleks antara konsumsi sumber daya, pertumbuhan ekonomi, dan dampak lingkungan. Tujuan Pembangunan Berkelanjutan harus mempunyai tiga dimensi utama: lingkungan hidup, ekonomi dan sosial. (World Summit Outcome, 2005).

Prinsip-prinsip kimia hijau (*Green Chemistry*) yang dikemukakan oleh Paul Anastas dan John Warner dalam bukunya *Green Chemistry: Theory and Practice*, merupakan prinsip-prinsip kimia hijau: penerapan atau diartikan sebagai produksi produk kimia (T. L. Chen et al., 2020). Ke-12 prinsip kimia hijau ini akan membantu para profesional kimia menentukan seberapa dekat pedoman ini sesuai dengan konsep keberlanjutan (Warner et al., 2004). Aspek kimia hijau saat ini berkembang mulai dari pengembangan reaksi dan produk baru hingga pengembangan proses dan konsep baru. Salah satunya kini menjadi dasar untuk memperkenalkan pendekatan holistik terhadap penerapan kimia sirkular, yang merupakan elemen kunci dalam membangun ekonomi sirkular atau *circular economy* (Ardila-Fierro & Hernández, 2021).

The Twelve Principles of Green Chemistry (GC).	
(GC 1)	Prevention
(GC 2)	Atom economy
(GC 3)	Less hazardous chemical syntheses
(GC 4)	Designing safer chemicals
(GC 5)	Safer solvents and auxiliaries
(GC 6)	Design for energy efficiency
(GC 7)	Use of renewable feedstocks
(GC 8)	Reduce derivatives
(GC 9)	Catalysis
(GC 10)	Design for degradation
(GC 11)	Real-time analysis for pollution prevention
(GC 12)	Inherently safer chemistry for accident prevention

Gambar 1. Dua Belas Prinsip *Green Chemistry*

Oleh karena itu, perlu adanya informasi mengenai berbagai penelitian mengenai penerapan green chemistry dalam bidang industri, khususnya dalam bidang industri kimia. Berbagai kajian mengenai penerapan *green chemistry* sudah banyak ditemukan dan tersebar di berbagai disiplin ilmu, namun yang kajian terbaru tentang penerapan *green chemistry* di industri belum banyak dilakukan. Seperti studi literatur mengenai industri manufaktur yang berkelanjutan pada 541 artikel yang dipilih dari database SCOPUS mulai dari Januari 2001 hingga Maret 2019 yang menunjukkan bahwa 63,40% penelitian dilaksanakan di negara-negara maju dengan sebagian besar (70,43%) menggunakan metode kualitatif, dan hasil berbagai penelitian menunjukkan adanya kontribusi signifikan dalam pembangunan ekonomi suatu negara seperti penerapan manufaktur berkelanjutan dalam industri pangan (2,96%), baja (2,77%) dan kimia (2,77%), serta menyarankan adanya pengusulan solusi untuk mengurangi dampak lingkungan dari proses industri manufaktur yang masif (Malek & Desai, 2020). Selain itu, dalam rangka mencapai industri berkelanjutan, studi literatur mengenai identifikasi rantai pasokan kulit yang berkelanjutan atau *sustainable leather supply chain* terhadap 61 penelitian yang diterbitkan antara tahun 1992 dan 2022 melalui database Scopus dan WoS menunjukkan bahwa beberapa tema yang diidentifikasi meliputi *drivers, barriers, practice, enablers* dan *outcomes* dari tata kelola rantai pasokan kulit telah memberikan beberapa kontribusi seperti dapat menjadi tinjauan pustaka komprehensif dan sistematis terkait rantai pasokan kulit yang berkelanjutan, dapat membantu memperdalam pemahaman tentang rantai pasokan kulit berkelanjutan, dan mampu memberikan saran dan wawasan untuk penelitian di masa mendatang (X. Chen et al., 2023). Sebagai gambaran studi literatur terkini, penelitian mengenai penerapan *Blockchain Technology* (BCI) dalam menciptakan fasilitas manufaktur yang cerdas dan berkelanjutan, sekaligus mengeksplorasi implikasinya terhadap *Supply Chain Management* (SCM) di Industri 4.0 telah dilakukan melalui analisis terhadap 82 artikel penelitian sejak tahun 2018 sampai 2023 pada database IEEEExplore, Science

Direct, Web of Science, dan SCOPUS, menunjukkan bahwa BCT dapat mempromosikan penerapan praktik manufaktur yang cerdas dan ramah lingkungan dengan metode produksi hijau atau *green production* seperti mendukung penggunaan sumber daya yang efisien melalui strategi pengurangan limbah (Alazab & Alhyari, 2024).

Berdasarkan hasil beberapa penelitian, maka relevansi penelitian ini terletak pada bidang penelitian dan metode yang digunakan dalam penelitian kepustakaan, khususnya kajian *green chemistry* melalui penelitian kepustakaan menggunakan *Systematic Document Review* (SLR) dengan PRISMA (*preferred Reporting Elements for tinjauan sistematis dan meta-analisis*). Perbedaan antara penelitian ini dan penelitian sebelumnya adalah sangat sedikit penelitian yang menganalisis tren publikasi terkait penerapan kimia hijau dalam industri selama dekade terakhir. Selain itu, perbedaan penelitian ini juga terletak pada teknik analisis dan kriteria inklusi yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan pustaka yang dapat memberikan dan menganalisis berbagai penelitian terkait penerapan kimia hijau dalam industri selama satu dekade terakhir, yaitu pada tahun 2014 hingga 2024. Hal ini dilakukan untuk mendukung kemajuan penerapan kimia hijau (*Green Chemistry*) secara berkelanjutan melalui hasil interpretasi berbagai referensi studi dari waktu ke waktu.

## METODOLOGI

### A. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan sistematik literatur review (SLR), yang bertujuan untuk mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan menginterpretasikan hasil penelitian sesuai dengan kriteria inklusi (Sukumar et al., 2023). Selain itu, proses seleksi pada penelitian ini menggunakan diagram PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses*) yang dapat menampilkan aktivitas inklusi dan eksklusi data hasil pencarian (Stovold et al., 2014). Variabel penelitian yang dianalisis meliputi sebaran publikasi artikel per tahun, sebaran negara asal penulis artikel, sebaran sitasi artikel, serta metode dan hasil penelitian penelitian terkait penerapan *Green Chemistry*.

### B. Kriteria Inklusi

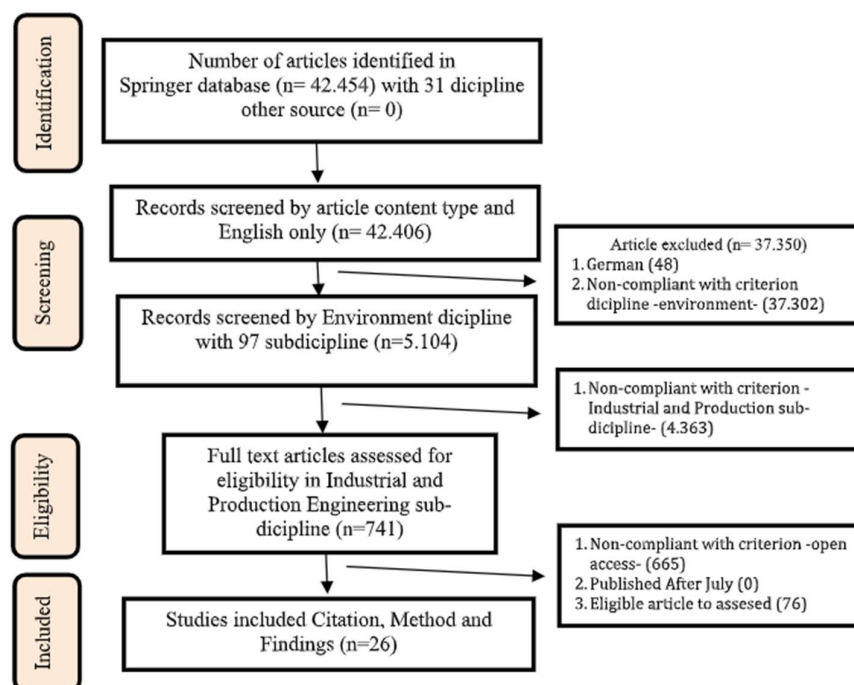
Pencarian dilakukan melalui database Springer dengan menetapkan beberapa kriteria inklusi seperti artikel jurnal penelitian yang diterbitkan dalam satu dekade terakhir, yaitu dari Januari 2014 hingga Juli 2024. Istilah pencarian yang digunakan adalah "*Green Chemistry in Industry*" yang terletak pada judul, abstrak, dan kata kunci. Kemudian pilih artikel dari jurusan Lingkungan saja, dengan minor Teknik Industri dan Manufaktur. Selain itu, hanya artikel dari jurnal akses terbuka dan yang ditulis dalam bahasa Inggris yang dipilih. Untuk buku atau bab buku, prosiding konferensi dan artikel pratinjau tidak dilibatkan dalam analisis.

### C. Analisis Data

Istilah yang digunakan dalam pencarian artikel adalah "*Industrial Green Chemistry*" untuk mendapatkan artikel terkait. Peneliti mengidentifikasi judul, abstrak, dan kata kunci artikel secara manual untuk memastikan artikel yang dihasilkan relevan dengan tujuan penelitian sampel. Artikel jurnal dipilih dari database Springer karena merupakan salah satu penerbit dengan jurnal terbanyak yang terindeks Scopus dan menawarkan berbagai macam publikasi ilmiah dalam berbagai disiplin ilmu yang dikembangkan secara saintifik (Springer, n.d.).

Bidang yang dipilih adalah bidang *Environment*, dengan sub disiplin *Industrial and Production Engineering*. Sektor dan subdisiplin dipilih dengan mempertimbangkan bahwa kimia hijau memiliki hubungan yang kuat dengan lingkungan dan bidang yang ingin kita pelajari memiliki hubungan dengan proses industri. Berdasarkan penelusuran awal diperoleh 42.454 artikel yang tersebar pada 31 disiplin ilmu, kemudian hanya terpilih 5.104 artikel pada disiplin ilmu *Environment* yang tersebar pada 97 subdisiplin. Peneliti kemudian menyaring kembali dengan memilih salah satu subdisiplin ilmu, khususnya teknik industri dan manufaktur, sehingga diperoleh 741 artikel jurnal. Penulis memilih penelitian yang lebih spesifik untuk memudahkan analisis penerapan kimia hijau di industri selama dekade terakhir. Pada akhirnya diperoleh 76 artikel, setelah itu penulis membaca dan memeriksa ulang seluruh dokumen untuk memastikan artikel sasaran memenuhi kriteria dan tidak ada duplikat. Sebelum memilih artikel akhir untuk direview, abstrak dan teks lengkapnya akan dilakukan review terlebih dahulu. Setelah data disaring, 50 artikel yang tidak sesuai dengan topik yang dianalisis akhirnya dieliminasi.

Selama proses seleksi, pembacaan teks lengkap semua artikel dilakukan. Untuk menghasilkan tinjauan sistematis yang akurat dan komprehensif, perlu dilakukan kajian relevansi naskah dengan pertanyaan utama penelitian, untuk menentukan apakah artikel memenuhi kriteria inklusi. Jika ada keraguan mengenai apakah suatu dokumen memenuhi kriteria inklusi, tinjauan independen akan dilakukan. Hasilnya, total 26 artikel memenuhi kriteria inklusi dan dipilih untuk ditinjau. Alur proses seleksi artikel disajikan dalam diagram Prisma berikut.



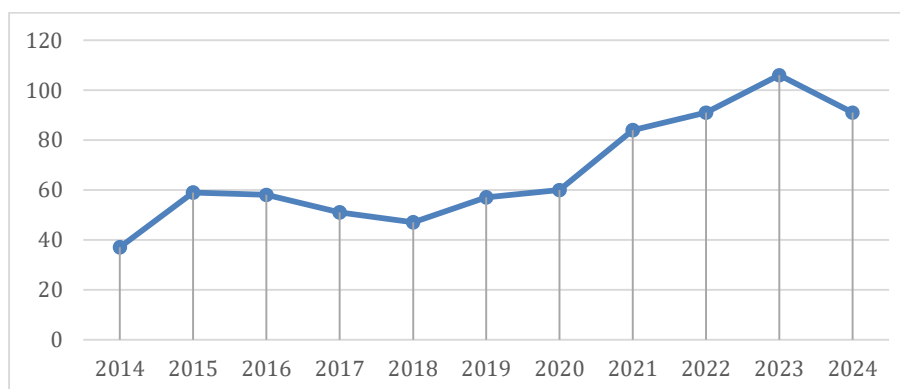
Gambar. 2 Alur Seleksi Artikel Jurnal

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis *Systematic Literature Review* (SLR) pada artikel jurnal yang terdapat di database *Springer* selama rentang waktu 2014–2024 disajikan dalam 4 bagian, yang meliputi distribusi publikasi artikel jurnal per tahun, distribusi Negara asal penulis artikel jurnal, distribusi jumlah sitasi artikel jurnal, serta metode dan temuan penelitian terkait dengan *green chemistry* di industri atau *green chemistry in industry*.

### a. Distribusi Publikasi Artikel Jurnal Per Tahun

Variabel pertama pada penelitian ini menunjukkan distribusi publikasi artikel jurnal terkait *green chemistry* di industri atau *green chemistry in industry* pada periode Januari 2014 hingga Juli 2024, dan disajikan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Distribusi Publikasi Artikel Jurnal Per Tahun

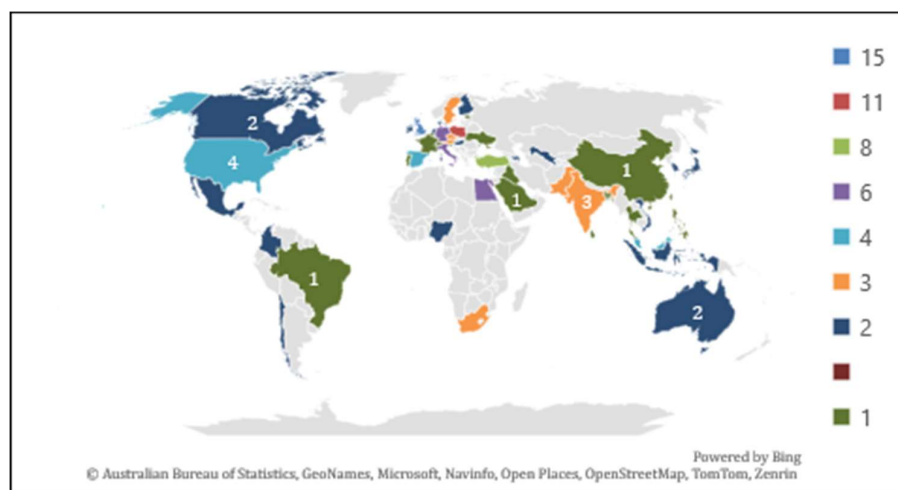
Berdasarkan hasil analisis distribusi publikasi per tahun, diketahui terdapat peningkatan jumlah publikasi selama 10 tahun terakhir, sejak Januari 2014 sampai Juli 2024. Jumlah publikasi artikel jurnal mengenai *green chemistry* di industri atau *green chemistry in industry* terbanyak ditunjukkan pada tahun 2023 dengan jumlah 106 artikel jurnal, terbanyak berikutnya ditemukan pada tahun 2024 dan 2022 yang menghasilkan 91 artikel jurnal pada masing-masing tahun, dan paling sedikit di tahun 2014 yaitu 37 artikel jurnal. Hal ini menunjukkan bahwa

sejak tahun 2014 sudah mulai banyak penelitian terkait penerapan green chemistry di industri. Seluruh artikel yang diperoleh selama satu dekade terakhir berasal dari jurnal yang sama yaitu *Clean Technologies and Environmental Policy*. berdasarkan grafik distribusi artikel jurnal per tahun secara keseluruhan menunjukkan bahwa penelitian mengenai penerapan *green chemistry* di industri sudah menjadi tren karena selalu ada peningkatan jumlah publikasi setiap tahunnya walaupun terdapat penurunan yang tidak terlalu signifikan dan tidak begitu mempengaruhi tren publikasi per tahunnya.

Penelitian ini telah berhasil menyajikan gambaran yang komprehensif dari studi literatur sebelumnya dan dapat membantu peneliti dan praktisi memahami perkembangan penelitian mengenai penerapan *green chemistry* di industri yang lebih lanjut. Berdasarkan hasil analisis, terlihat jelas adanya peningkatan yang signifikan pada volume publikasi selama 10 tahun terakhir, walaupun terdapat penurunan yang tidak terlalu signifikan pada tahun 2016 sampai dengan 2018 dan meningkat kembali di tahun 2019. Temuan pada peningkatan publikasi ini sejalan dengan hasil studi literatur mengenai penerapan *Green Innovation (GI)* pada 178 artikel sejak tahun 2007 hingga 2019 melalui database Web of Science and Scopus yang melaporkan adanya peningkatan pesat dalam volume publikasi artikel dari tahun ke tahun dengan peningkatan signifikan di tahun 2016 hingga 2018, dan menjadikan tahun 2019 sebagai tahun dengan pertumbuhan yang pesat pada publikasi mengenai Inovasi Hijau atau *Green Innovation (GI)*, temuan ini mampu memberi gambaran pentingnya penerapan inovasi lingkungan di masyarakat seperti menawarkan layanan dan produk yang ramah lingkungan, pengurangan limbah dan polusi, penelitian ini juga menggambarkan pengaruh dari faktor sumber daya manusia yang berkualitas, tekanan pelanggan dan kurangnya kepercayaan lingkungan, dan optimalisasi kinerja dalam organisasi dan perusahaan terhadap pengurangan masalah lingkungan (Karimi Takalo et al., 2021). Oleh karena itu, hal ini menunjukkan bahwa penerapan *green chemistry* telah hadir menjadi sebuah tren dalam penelitian, khususnya dalam industri karena dianggap mampu menghadirkan referensi terkini terkait dengan proses industri yang aman dan berkelanjutan. Dengan demikian, jumlah publikasi mengenai penerapan *green chemistry* khususnya dalam industri diprediksi akan meningkat secara signifikan dari tahun ke tahun.

#### b. Distribusi Negara Asal Penulis Artikel Jurnal

Variabel kedua ini membahas tentang distribusi Negara asal penulis artikel jurnal penelitian mengenai penerapan *green chemistry* di industri dan hasil analisis pada 76 artikel jurnal disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 4. Distribusi Negara Asal Penulis Artikel Jurnal

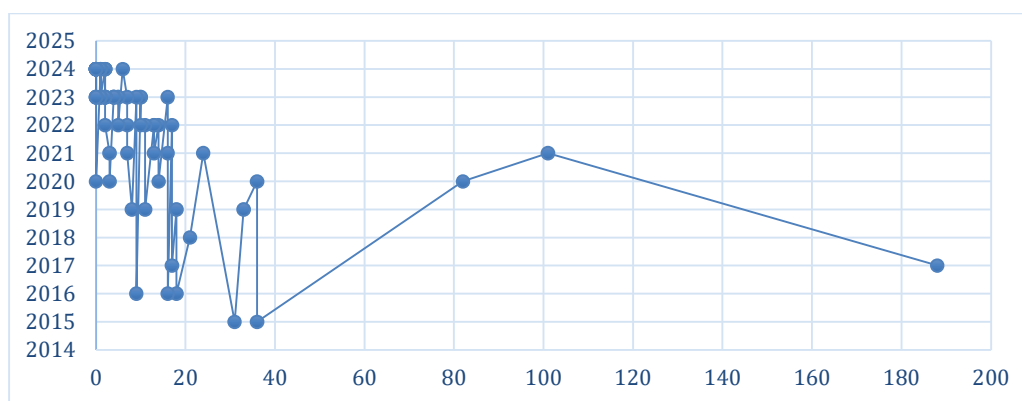
Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa distribusi negara asal penulis artikel jurnal mengenai penerapan *green chemistry* di industry dalam jurnal *Clean Technologies and Environmental Policy* selama satu dekade terakhir mayoritas berasal dari negara-negara eropa dengan dua negara terpopulernya yaitu UK dan Poland. Peringkat terbanyak berikutnya sebagai negara asal penulis yaitu Turkey, Egypt, Germany, Italy, Malaysia, Spain, USA, Austria, Czech Republic, India, Pakistan, South Africa, Sweden, Australia, Azerbaijan, Canada, Chile, Colombia, Denmark, Finland, Hungary, Indonesia, Ireland, Japan, Lebanon, Mexico, Netherland, Nigeria, South Korea, USA, Uzbekistan, Vietnam, Bangladesh, Belgium, Brazil, Brunei Darussalam, China, Estonia, France, Iraq,

Israel, Philippines, Portugal, Saudi Arabia, Slovenia, Sri Lanka, Switzerland, Taiwan, Thailand, dan Ukraina. Temuan ini memperlihatkan bahwa UK atau United Kingdom sebagai negara terbanyak tempat asal penulis artikel jurnal mengenai penerapan *green chemistry* di industri, telah berkontribusi secara signifikan untuk mengembangkan penelitian di ruang lingkup industri dan teknik produksi. Adapun puluhan negara lainnya telah menunjukkan kontribusi riset terbanyak dalam hal penerapan *green chemistry*. Temuan ini menunjukkan bahwa penelitian terkait penerapan *green chemistry* lebih banyak dilakukan oleh negara maju dibandingkan negara-negara berkembang. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti yang dimuat dalam hasil studi literatur pada 38 artikel penelitian mengenai *Sustainable Supply Chain Management* (SSCM) melalui kerangka Quadruple Helix mengenai industri minyak dan gas (OG) di wilayah geografis tertentu di negara-negara berkembang dalam kurun waktu tahun 2012 hingga 2024, yang menunjukkan bahwa belum banyak penelitian terkait penerapan prinsip berkelanjutan atau *sustainability* seperti konsep ekonomi sirkular yang diterapkan negara maju. Penyebabnya adalah angka kemiskinan yang masih tinggi, kondisi kehidupan yang sulit, dan krisis sosial-politik, yang menjadi ciri kondisi beberapa negara berkembang, sehingga kombinasi faktor sosial, ekonomi, dan lingkungan mengakibatkan sulitnya menerapkan SSCM (Atstāja & Mukem, 2024).

Namun, seiring berjalannya waktu terlihat adanya keberagaman Negara asal penulis seperti mulai muncul penulis yang berasal dari negara-negara di benua Amerika, Afrika, Australia, dan Asia, termasuk wilayah Asia Tenggara seperti Indonesia, Malaysia dan Thailand menunjukkan bahwa partisipasi penelitian mengenai penerapan *green chemistry* sudah mulai bertambah. Dengan demikian, hal ini mampu memberikan peluang dalam melibatkan banyak penulis dari berbagai negara baik negara maju maupun negara berkembang untuk berkolaborasi dan berkontribusi dalam penelitian bidang ini khususnya mengenai penerapan *green chemistry*, sehingga mampu menghasilkan penelitian yang lebih lengkap dan komprehensif sepanjang tahun.

### c. Distribusi Jumlah Sitasi Artikel Jurnal

Variabel ketiga mengenai distribusi jumlah sitasi artikel jurnal, dapat diketahui dari 76 artikel jurnal yang telah dianalisis, hasilnya disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 5. Distribusi Jumlah Sitasi Artikel Jurnal

Berdasarkan hasil analisis pada distribusi jumlah sitasi artikel jurnal selama satu dekade terakhir dari 2014 sampai 2024 dalam jurnal *Clean Technologies and Environmental Policy*, dapat diketahui bahwa jumlah sitasi terbanyak ditemukan pada salah satu artikel jurnal yang terbit di tahun 2017 dengan total jumlah 188 sitasi. Sitasi terbanyak berikutnya terdapat pada salah satu artikel jurnal yang terbit di tahun 2021 dengan total jumlah 101 sitasi. Jumlah sitasi terbanyak berikutnya terdapat pada dua artikel jurnal yang terbit di tahun 2020 dengan jumlah 82 dan 36 sitasi. Jumlah sitasi artikel jurnal terbanyak berikutnya terdapat di tahun 2015 dengan jumlah 36 sitasi.

Adapun jika diurutkan berdasarkan 5 peringkat jumlah sitasi terbanyak, maka diperoleh 5 artikel jurnal dengan peringkat pertama ditunjukkan oleh hasil penelitian Smol dkk pada tahun 2017 mengenai Indikator ekonomi sirkular dalam kaitannya dengan eko-inovasi di wilayah Eropa dengan jumlah sitasi 188. Peringkat berikutnya memiliki jumlah sitasi 101 yang penelitiannya dilakukan oleh Winterton pada tahun 2021 mengenai perspektif kritis pada Pelarut Hijau atau *Green Solvent*. Peringkat berikutnya dengan jumlah 82 sitasi terdapat pada penelitian mengenai analisis kritis terhadap pilihan antara minyak mentah dan biomassa pada produksi bahan bakar dan bahan kimia di era dunia baru terkait dengan prinsip keberlanjutan dan lingkungan, yang

dilakukan oleh Yadav dkk pada tahun 2020. Sitasi terbanyak berikutnya terdapat pada artikel jurnal yang berbeda di tahun 2020 dan 2015, diantaranya pada penelitian yang dilakukan oleh Rechsteiner di tahun 2020 mengenai kajian politis terhadap transisi energi Jerman (Energiewende) pada kebijakan iklim dan lingkungan dengan jumlah sitasi 36, dan penelitian yang dilakukan oleh Kulczycka & Smol di tahun 2015 mengenai evaluasi proyek investasi melalui jalur ramah lingkungan yang menggunakan penilaian siklus hidup atau *Life Cycle Assessment* (LCA) dan *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA), dengan jumlah sitasi 36 .

Adanya fluktuasi pada jumlah sitasi artikel jurnal di tiap tahunnya ini menjadi perhatian bahwa masih diperlukan publikasi artikel jurnal yang lebih relevan dengan kondisi dan kebutuhan industri saat ini. seperti hasil penelitian yang menunjukkan bahwa diperlukannya saat ini industri harus menerapkan konsep energi terbarukan agar menghasilkan sinergitas yang lebih ramah lingkungan antara kawasan industri dengan lingkungan masyarakat (Butturi et al., 2019). Tentunya dalam hal ini sejalan dengan hasil sitasi artikel jurnal terbanyak yang membahas tentang pentingnya menerapkan Ekonomi Sirkular dalam rangka mengimplementasikan prinsip *green chemistry* khususnya dalam ruang lingkup industri, sehingga ini mampu menjadi peluang untuk para peneliti kedepannya agar menghasilkan penelitian yang lebih lengkap dan komprehensif sepanjang tahun.

#### d. Metode dan Temuan Penelitian

Variabel keempat yaitu mengenai metode dan temuan penelitian. Dari 76 artikel jurnal yang diseleksi menjadi 26 artikel yang sesuai untuk dianalisis, kemudian dipilih beberapa artikel pada 5 peringkat teratas jumlah sitasi terbanyak untuk dapat dijelaskan lebih lanjut terkait metode dan juga temuan penelitian. Adapun data dari 26 artikel jurnal yang telah dianalisis disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Analisis Artikel Jurnal

No.	Judul	Penulis	Tahun	Jumlah Sitasi	Negara Penulis
1	Circular economy indicators in relation to eco-innovation in European regions	Marzena Smol, Joanna Kulczycka & Anna Avdiushchenko	2017	188	Poland, Ukraine
2	The green solvent: a critical perspective	Neil Winterton	2021	101	UK
3	The production of fuels and chemicals in the new world: critical analysis of the choice between crude oil and biomass vis-à-vis sustainability and the environment	Vikramaditya G. Yadav, Ganapati D. Yadav & Saurabh C. Patankar	2020	82	South Africa, Germany
4	Environmentally friendly pathways for the evaluation of investment projects using life cycle assessment (LCA) and life cycle cost analysis (LCCA)	Joanna Kulczycka & Marzena Smol	2015	36	Poland
5	German energy transition (Energiewende) and what politicians can learn for environmental and climate policy	Rudolf Rechsteiner	2020	36	Switzerland
6	An investigation into UK government policy and legislation to renewable energy and greenhouse gas reduction commitments	Blaid Raybould, Wai M. Cheung, Chris Connor & Ross Butcher	2019	33	UK
7	Design of production systems with hybrid energy and water generation for sustainable value creation	S. Emec, P. Bilge & G. Seliger	2015	31	Germany
8	Functionalized multi-walled carbon nanotubes for oil spill cleanup from water	Thamer Adnan Abdullah, Tatjana Juzsakova, ...Mustafa Aldulaimi	2021	24	Hungary, Iraq, South Korea, Pakistan, Vietnam, USA
9	Critique of selected peer-reviewed publications on applied social life cycle assessment: focus on cases from developing countries	G. Venkatesh	2018	21	Sweden
10	Green chemistry: deliverance or distraction?	Neil Winterton	2016	18	UK
11	Not in my hiking trail? Acceptance of wind farms in the Austrian Alps	Thomas Bruderermann, Rafia Zaman & Alfred Posch	2019	18	Austria, Bangladesh

12	Methodology for implementing power plant efficiency standards for power generation: potential emission reduction	T. M. I. Mahlia, J. Y. Lim, Lisa Aditya, T. M. I. Riayatsyah, A. E. Pg Abas & Nasruddin	2017	17	Malaysia, Brunei Darussalam, Poland, Indonesia
13	Modelling to analyse the process and sustainability performance of forestry-based bioenergy systems	Elias Martinez-Hernandez, Jhuma Sadhukhan, Jorge Aburto, Myriam A. Amezcua-Allieri, Stephen Morse & Richard Murphy	2022	17	Mexico, UK
14	Removal of cobalt(II) and zinc(II) from sulphate solutions by means of extraction with sodium bis(2,4,4-trimethylpentyl)phosphinate (Na-Cyanex 272)	Magdalena Regel-Rosocka, Katarzyna Staszak, ...Anna Masalska	2016	16	Poland
15	CuAg and AuAg bimetallic nanoparticles for catalytic and heat transfer applications	Anusha Dsouza, M. P. Shilpa, S. C. Gurumurthy, B. S. Nagaraja, Shridhar Mundinamani, Koduri Ramam, Murali Gedda & M. S. Murari	2021	16	India, Chile, Saudi Arabia
16	Cleaner and sustainable synthesis of high-quality monoglycerides by use of enzyme technologies: techno-economic and environmental study for monolaurin	Ahmad Mustafa, Sara Fathy, Ozben Kutlu, Fumiya Niikura, Abrar Inayat, Muhamad Mustafa, Tamer M. M. Abdellatif, Awais Bokhari, Olusegun David Samuel, Carlo Pastore, Luigi di Bitonto, M. A. Tawfik, Mamoona Munir & Reham Mohsen	2023	16	Egypt, Turkey, Japan, UEA, France, Italy, Nigeria, South Africa, Pakistan, UK
17	Diverse community energy futures in Saskatchewan, Canada	Margot Hurlbert, Mac Osazuwa-Peters, Jeremy Rayner, David Reiner & Petr Baranovskiy	2020	14	Canada, UK
18	Multi-criteria decision analysis for prospective sustainability assessment of alternative technologies and fuels for individual motorized transport	M. Haase, C. Wulf, M. Baumann, H. Ersoy, J. C. Koj, F. Harzendorf & L. S. Mesa Estrada	2022	14	Germany
19	Can energy self-sufficiency be achieved? Case study of Warmińsko-Mazurskie Voivodeship (Poland)	B. Iglński, U. Kielkowska, G. Piechota, M. Skrzatek, M. Cichosz & P. Iwański	2021	13	Poland
20	Benchmarking of sustainability to assess practices and performances of the management of the end of life cycle of electronic products: a study of Brazilian manufacturing companies	Lucilene Gonçalves da Costa, João Carlos Espíndola Ferreira, Vikas Kumar & Jose Arturo Garza-Reyes	2022	13	Brazil, UK
21	Use phase and end-of-life modeling of biobased biodegradable plastics in life cycle assessment: a review	Katrin Molina-Besch	2022	13	Sweden
22	The impacts of the sulphur emission regulation on the sulphur emission abatement innovation system in the Baltic Sea region	Anu Lähteenmäki-Uutela, Johanna Yliskylä-Peuralahti, Eunice Olaniyi, Teemu Haukioja, Sari Repka, Gunnar Prause & Olena De Andres Gonzalez	2019	11	Finland, Estonia
23	Estimation of the heat required for intermediate pyrolysis of biomass	Wojciech Jerzak, Markus Reinmüller & Aneta Magdziarz	2022	11	Poland, Germany, Denmark
24	A green approach for modification and functionalization of wool fabric using bio- and nano-technologies	Nabil A. Ibrahim, Hala A. Amin, Mohamed S. Abdel-Aziz & Basma M. Eid	2022	10	Egypt
25	The specificities of the circular economy (CE) in the municipal wastewater and sewage sludge sector—local circumstances in Poland	Malgorzata J. Kacprzak & Iwona Kupich	2023	10	Poland
26	Economic and environmental impact of electric vehicles production in Indonesia	Viktor Pirmana, Armida Salsiah Alisjahbana, Arief Anshory Yusuf, Rutger Hoekstra & Arnold Tukker	2023	10	Indonesia, Netherland

Berdasarkan tabel hasil analisis di atas, diketahui bahwa dari 26 artikel jurnal mengenai penerapan *green chemistry* di industri pada jurnal *Clean Technologies and Environmental Policy*. Pada artikel jurnal nomor 1, diketahui bahwa metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian dan pengembangan atau *Research and Development* (R&D) untuk mengembangkan 5 aspek sistem indikator dari *circular economy* (CE) berbasis *eco-innovation*, dengan temuan penelitiannya berupa konsep baru pada sistem indikator *circular economy* (CE) berbasis *eco-innovation* yang meliputi *CE–eco-innovation inputs*, *CE–eco-innovation activities*, *CE–eco-innovation outputs*, *the effect of CE–eco-innovation in resource efficiency outcomes* dan *socio-economic outcomes*. (Smol et al., 2017).

Artikel nomor 2 menunjukkan penggunaan kajian literatur sebagai metode penelitiannya, dengan membahas pelarut hijau atau *green solvent* sebagai salah satu fokus utama pembahasan *green chemistry* sejak tahun 1990-an. Temuan penelitian ini menyarankan bahwa lebih baik untuk memilih pelarut yang berkelanjutan (*sustainable solvent*) dibandingkan memproduksi pelarut-pelarut baru dengan klaim ramah lingkungan, dengan menggunakan metodologi penilaian siklus hidup atau *Life Cycle Assessment* (LCA) yang mengkaji dampak toksikologi, ekotoksikologi, dampak lingkungan, penipisan sumber daya, dan dampak ekonomi mulai dari rantai produksi seperti bahan baku utamanya, kemudian dalam proses formulasi dan penggunaannya, sampai dampak hasil pembuangan akhirnya (Winterton, 2021).

Pada artikel nomor 3, terlihat bahwa metode penelitian yang digunakan adalah studi literatur pada berbagai kajian mengenai analisis kritis terhadap pilihan antara minyak mentah dan biomassa pada produksi bahan bakar dan bahan kimia di era dunia baru terkait dengan prinsip keberlanjutan dan lingkungan. Hasil penelitian ini berhasil mengusulkan paradigma baru untuk produksi bahan bakar dan bahan kimia yang tidak hanya menawarkan potensi monetisasi yang besar untuk biomassa dan gas serpih atau *shale gas*, tetapi juga dapat mengurangi skala produksi dan meningkatkan energi serta ekonomi atom pada kilang minyak (Yadav et al., 2020).

Artikel nomor 4 menunjukkan bahwa metode penelitian yang digunakan yaitu *Research and Development* (R&D) dengan mengembangkan algoritma untuk menghubungkan model penilaian siklus hidup atau *Life Cycle Assessment* (LCA) terkait isu lingkungan dan model analisis biaya siklus hidup atau *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) terkait dengan faktor ekonomi yang digunakan untuk melakukan penilaian terpadu pada proyek investasi. Hasil penelitian ini berhasil mengembangkan algoritma melalui 3 jalur ramah lingkungan dengan menggunakan indikator LCA–LCCA sebagai pendukung proses pengambilan keputusan, yang terdiri dari jalur investasi lingkungan, jalur investasi modernisasi dan inovasi, dan jalur investasi baru. (Kulczycka & Smol, 2015).

Pada artikel nomor 5, metode penelitian yang digunakan ialah studi literatur terhadap transisi energi Jerman atau *Energiewende* dan kajian politik terhadap kebijakan lingkungan dan iklim. Adapun hasil penelitian ditemukan bahwa transisi energi Jerman sangat signifikan, mirip dengan terobosan dalam teknologi informasi yang terlihat di Silicon Valley. Namun, perbedaannya terletak pada inovasi yang dilakukan oleh sektor swasta di Jerman dengan mendorong tindakan dan keputusan parlementer Jerman untuk menerapkan skema kompensasi berbasis biaya yang berani, dipengaruhi oleh prinsip efisiensi dinamis dan prinsip berbayar untuk pelaku pencemaran. Langkah-langkah ini digunakan di luar batasan anggaran pemerintah yang biasa, dengan memberikan dukungan jangka panjang serta mempertahankan insentif ekonomi yang signifikan (Rechsteiner, 2020).

Dari hasil pembahasan mengenai berbagai metode penelitian dan temuan penelitian pada 7 artikel jurnal yang masuk kedalam 5 peringkat teratas dengan jumlah sitasi terbanyak ini mampu menunjukkan tren penelitian yang dilakukan oleh para peneliti untuk mengkaji penerapan *green chemistry* di industri. Sebagian besar metode penelitian yang digunakan adalah melakukan sintesis hijau studi literatur dan penelitian pengembangan atau *Research and Development* (R&D) dengan tema penelitian terpopulernya energi terbarukan seperti penerapan ekonomi sirkular (*Circular Economy*). CE menjadi salah satu bagian penting dari *Green Chemistry* yang merupakan sebuah pendekatan desain yang restoratif dan regeneratif, bertujuan untuk mempertahankan produk, komponen, dan material untuk tetap dalam kondisi terbaik dan nilai tertingginya sepanjang waktu, yang fokus pada keberlanjutan lingkungan serta penerapan reaksi kimia yang efisien dan efektif (Silvestri et al., 2021). Sedangkan pada temuan penelitiannya secara keseluruhan bernilai positif karena dapat menghasilkan kebenaran yang dapat dibuktikan dengan adanya kesesuaian antara target penelitian dengan hasil penelitian. Hal ini mampu mendorong ketertarikan para peneliti di masa mendatang untuk terus bereksplorasi dalam melakukan penelitian dalam bidang industri kimia, khususnya mengenai penerapan *green chemistry* yang lebih komprehensif dan lebih mendalam.

## KESIMPULAN

Berdasarkan karakteristik artikel penelitian mengenai *green chemistry* di industri atau *green chemistry in industry* disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Terdapat perkembangan yang signifikan pada volume publikasi selama 10 tahun terakhir sejak 2014 hingga 2024, hal ini menunjukkan bahwa penerapan *green chemistry* semakin menjadi tren baru bagi dunia industri untuk mulai memperhatikan dampak lingkungan yang dihasilkan. Jumlah publikasi artikel jurnal terbanyak terdapat pada tahun 2023 dengan total 106 artikel.
- Negara asal penulis artikel penelitian mengenai *green chemistry* di industri pada jurnal *Clean Technologies and Environmental Policy*, selama satu dekade terakhir yaitu mayoritas penulis artikel penelitian mengenai penerapan Green Chemistry di Industri berasal dari negara-negara eropa, yaitu UK dan Poland sebagai negara terpopulernya. Diikuti oleh berbagai negara seperti Egypt, Germany, Italy, South Africa, India, Indonesia, USA, Canada dan lain-lain.
- Jumlah sitasi artikel terbanyak terdapat pada salah satu artikel di tahun 2017 sebanyak 188 sitasi, diikuti oleh artikel jurnal yang terbit di tahun 2021 dengan jumlah 101 sitasi. Kemudian pada dua artikel jurnal yang terbit di tahun 2020 dengan jumlah 82 dan 36 sitasi. Dan artikel jurnal dengan jumlah sitasi terbanyak berikutnya terdapat di tahun 2015 dengan jumlah 36 sitasi.
- Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini meliputi metode studi literatur, eksperimen, penelitian pengembangan dan analisis kuantitatif dengan temuan penelitian secara keseluruhan menampilkan topik populer yaitu penggunaan energi terbarukan dan bahan alternatif untuk mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan.

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat membahas kriteria inklusi lainnya agar studi literatur yang dilakukan mendapatkan hasil yang lebih komprehensif dan berguna sebagai referensi untuk mengetahui tren penelitian terkini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung penelitian ini, diantaranya kepada seluruh dosen pengajar di program studi Teknik Kimia dan program studi Agribisnis, Fakultas Teknik dan Pertanian, Universitas Setia Budi Rangsasbitung. penelitian ini dilakukan secara mandiri dan tidak menggunakan dana hibah manapun.

## REFERENSI

- Alazab, M., & Alhyari, S. (2024). Industry 4.0 Innovation: A Systematic Literature Review on the Role of Blockchain Technology in Creating Smart and Sustainable Manufacturing Facilities. *Information (Switzerland)*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/info15020078>
- Ardila-Fierro, K. J., & Hernández, J. G. (2021). Sustainability Assessment of Mechanochemistry by Using the Twelve Principles of Green Chemistry. *ChemSusChem*, 14(10), 2145–2162. <https://doi.org/10.1002/cssc.202100478>
- Atstāja, D., & Mukem, K. W. (2024). Sustainable Supply Chain Management in the Oil and Gas Industry in Developing Countries as a Part of the Quadruple Helix Concept: A Systematic Literature Review. *Sustainability (Switzerland)*, 16(5). <https://doi.org/10.3390/su16051776>
- Butturi, M. A., Lolli, F., Sellitto, M. A., Balugani, E., Gamberini, R., & Rimini, B. (2019). Renewable energy in eco-industrial parks and urban-industrial symbiosis: A literature review and a conceptual synthesis. *Applied Energy*, 255(August), 113825. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113825>
- Chen, T. L., Kim, H., Pan, S. Y., Tseng, P. C., Lin, Y. P., & Chiang, P. C. (2020). Implementation of green chemistry principles in circular economy system towards sustainable development goals: Challenges and perspectives. *Science of the Total Environment*, 716(1), 136998. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136998>
- Chen, X., Xu, L., Ren, Z., Jia, F., & Yu, Y. (2023). Sustainable supply chain management in the leather industry: a systematic literature review. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 26(12), 1663–1703. <https://doi.org/10.1080/13675567.2022.2104233>
- Karimi Takalo, S., Sayyadi Tooranloo, H., & Shahabaldini parizi, Z. (2021). Green innovation: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 279, 122474. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122474>
- Kulczycka, J., & Smol, M. (2015). Environmentally friendly pathways for the evaluation of investment projects using life cycle assessment (LCA) and life cycle cost analysis (LCCA). *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(3), 829–842. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-1059-x>

- Malek, J., & Desai, T. N. (2020). A systematic literature review to map literature focus of sustainable manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120345. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120345>
- Rechsteiner, R. (2020). German energy transition (Energiewende) and what politicians can learn for environmental and climate policy. In *Clean Technologies and Environmental Policy* (Vol. 23, Issue 2). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01939-3>
- Seo, S. N. (2017). Beyond the Paris Agreement: Climate change policy negotiations and future directions. *Regional Science Policy and Practice*, 9(2), 121–140. <https://doi.org/10.1111/rsp3.12090>
- Silvestri, C., Silvestri, L., Forcina, A., Di Bona, G., & Falcone, D. (2021). Green chemistry contribution towards more equitable global sustainability and greater circular economy: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126137. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126137>
- Smol, M., Kulczycka, J., & Avdiushchenko, A. (2017). Circular economy indicators in relation to eco-innovation in European regions. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(3), 669–678. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1323-8>
- Springer. (n.d.). Springer.com. Retrieved from Springer: <https://www.springer.com/gp/about-springer>
- Stovold, E., Beecher, D., Foxlee, R., & Noel-Storr, A. (2014). Study flow diagrams in Cochrane systematic review updates: An adapted PRISMA flow diagram. *Systematic Reviews*, 3(1), 1–5. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-3-54>
- Sukumar, V., Chinnusamy, S., Kumar, H., & Rathinam, S. (2023). Method development and validation of Atorvastatin, Ezetimibe and Fenofibrate using RP- HPLC along with their forced degradation studies and greenness profiling. *Green Chemistry Letters and Reviews*. <https://doi.org/10.1080/17518253.2023.2198651>
- Warner, J. C., Cannon, A. S., & Dye, K. M. (2004). Green chemistry. *Environmental Impact Assessment Review*, 24(7–8), 775–799. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.06.006>
- Winterton, N. (2021). The green solvent: a critical perspective. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(9), 2499–2522. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02188-8>
- World Summit Outcome. (2005). Resolution adopted by the General Assembly on 16 September 2005. In *United Nations*.
- Yadav, V. G., Yadav, G. D., & Patankar, S. C. (2020). The production of fuels and chemicals in the new world: critical analysis of the choice between crude oil and biomass vis-à-vis sustainability and the environment. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(9), 1757–1774. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01945-5>