

PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA DALAM SATU DEKADE TERAKHIR: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW (SLR)

Lintang Rizkyta Ananda¹

Universitas Setia Budhi Rangkasbitung1

Email: lintangrizkyta21@gmail.com

ABSTRAKSI

Studi literatur ini bertujuan untuk memberikan dan menganalisis gambaran penelitian mengenai pengolahan limbah industri kimia (*chemical industrial waste treatment*) dalam satu dekade terakhir, dari tahun 2013 hingga 2023. Artikel jurnal yang teridentifikasi berasal dari database Taylor & Francis Online. Penelitian ini menggunakan *Systematic Literature Review* (SLR), dengan diagram alir PRISMA yang mampu menunjukkan aktivitas inklusi dan hasil pencarian data. Dari 613 artikel yang tersebar di 12 sub-bidang dipilih dan diseleksi menjadi 135 artikel jurnal, kemudian dianalisis sehingga diperoleh 33 artikel. Hasilnya terdapat 22 artikel yang telah memenuhi kriteria inklusi dan dipilih untuk ditinjau. Hasil yang diperoleh dari artikel-artikel penelitian pengolahan limbah industri kimia mengalami perkembangan yang signifikan walaupun terdapat sempat mengalami jeda waktu yang mengakibatkan tidak ada artikel yang terbit di beberapa waktu. Dari hasil analisis, mayoritas penulis artikel penelitian mengenai pengolahan limbah industri kimia berasal dari India, diikuti oleh Prancis, China, dan Italia, serta mulai muncul keberagaman penulis yang berasal dari Negara-negara di Asia. Jumlah sitasi artikel jurnal terbanyak diperoleh pada tahun 2013 dengan total jumlah sitasi 77. Dari artikel dengan sitasi paling banyak tersebut diketahui metode penelitian yang populer digunakan yaitu sintesis hijau dengan keseluruhan temuan penelitian menunjukkan hasil yang positif. Kedepannya, dapat dimasukkan lebih banyak aspek dan lebih banyak jenis artikel untuk dianalisis dan harus dapat memanfaatkan waktu yang lebih lama dalam melakukan studi literatur.

Kata Kunci: *Industri kimia, pengolahan limbah industri, SLR.*

ABSTRACT

This literature study aims to provide and analyze an overview of chemical industrial waste treatment research in the last decade, from 2013 to 2023. The identified journal articles came from the Taylor & Francis Online database. This study used a Systematic Literature Review (SLR), with a PRISMA flowchart which can show inclusion activity and data search results. Of the 613 articles spread across 12 sub-fields, 135 journal articles were selected and then analyzed to obtain 33 articles. As a result, 22 articles met the inclusion criteria and were selected for review. The results obtained from research articles on chemical industrial waste treatment experienced significant developments even though there had been a time lag which resulted in no articles being published for some time. The analysis results show the majority of research article authors on chemical industrial waste treatment came from India, followed by France, China, and Italy, and a diversity of authors began to emerge from countries in Asia. The highest number of journal article citations was published in 2013 with a total number of 77 citations. From the articles with the most citations, it is known that the most popular research method is green synthesis with the research findings having positive results. In the future, more aspects and more types of articles can be included for analysis and might be able to take a longer time to research a literature study.

Keywords: *Chemical industrial, SLR, waste treatment.*

Penulis Korespondensi

Lintang Rizkyta Ananda

Tanggal Submit : 15/08/2023
Tanggal Diterima : 30/10/2023
Tanggal Terbit : 15/12/2023

This is an open access article under the [CC-BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0) International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Publisher's Note: JPPM stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

I. PENDAHULUAN

Industri kimia merupakan salah satu industri yang memiliki resiko tinggi dalam kecelakaan kerja dengan dampak cedera bahkan kematian, termasuk risiko yang ditimbulkan dari hasil proses industri [1]. Penyebab adanya risiko tinggi ini adalah penggunaan bahan kimia dalam proses industri dengan sifat berbahaya misalnya mudah terbakar, mudah meledak, dan beracun, serta kondisi yang ekstrem (suhu tinggi, tekanan tinggi, dan volume besar) [2]. Hal ini menjadikan kesehatan dan keselamatan kerja dalam industri kimia menjadi sangat penting bagi semua pemangku kepentingan seperti karyawan, masyarakat sekitar [3]. Faktor penyebab utama kecelakaan di industri biasanya berkaitan dengan faktor manusia seperti budaya keselamatan kerja, kesadaran dan kesiapan dalam situasi darurat, sehingga pelatihan untuk meningkatkan kompetensi sumber daya manusia di industri kimia perlu ditingkatkan [4]. Oleh karena itu dibutuhkan kompetensi dalam bidang industri kimia yang mampu menguasai keterampilan sesuai dengan kebutuhan industri, khususnya dalam hal industri yang berkelanjutan.

Program keberlanjutan dalam industri kimia dibutuhkan karena sektor ini memiliki kontribusi besar dalam penggunaan energi serta bahan baku yang bersumber dari bahan bakar fosil, sehingga memerlukan perubahan dalam upaya pelestarian lingkungan [5]. Kaitan proses industri kimia dengan lingkungan sangatlah besar, dari mulai proses produksi sampai dengan dampak yang dihasilkan seperti limbah industri. Proses industri kimia biasanya menghasilkan berbagai limbah yang dapat terbuang setiap menit dan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti Jenis dan volume limbah yang dihasilkan dari proses industri dipengaruhi oleh faktor internal seperti tahapan kegiatan industri; jenis industri; praktik industri; dan teknologi di tempat dan oleh faktor eksternal, seperti perubahan cuaca; standar dan peraturan; dan kondisi geologis [6].

Limbah yang dihasilkan oleh kegiatan industri dapat mengandung partikel, elemen dan bahan kimia berbahaya bagi manusia, hewan, dan lingkungan yang mengakibatkan ini menjadi permasalahan utama [7]. Hal ini dapat disebabkan oleh metode pengendalian limbah yang tidak memadai, pembuangan limbah langsung ke lingkungan, kurangnya pengetahuan, masalah dalam rancangan industri, serta kurangnya dana pengelolaan limbah [8]. Faktor-faktor tersebut dapat diidentifikasi sebagai tantangan sekaligus keterbatasan dalam praktik pengelolaan limbah yang saat ini mulai diperhatikan dalam rangka mendukung industri berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan informasi terkait berbagai studi mengenai pengelolaan atau pengolahan limbah sesuai standar, khususnya dalam ruang lingkup industri kimia.

Studi literatur mengenai pengelolaan atau pengolahan limbah industri sudah banyak ditemukan dan tersebar di berbagai disiplin ilmu, namun yang khusus mengkaji tentang pengolahan limbah industri kimia masih belum banyak ditemukan. Seperti studi mengenai pengolahan limbah untuk keberlanjutan lingkungan dan ekonomi selama lebih dari 20 tahun terakhir antara 2000 sampai 2023 melalui 46 artikel yang dianalisis, menunjukkan bahwa pengolahan limbah yang dilakukan memungkinkan pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan, salah satunya dengan meminimalkan penggunaan energi [9]. Selain itu dalam rangka mencapai industri berkelanjutan, studi literatur pada 78 publikasi ilmiah mengenai ekonomi sirkular dan pengelolaan limbah selama satu dekade terakhir, dari tahun 2012 sampai tahun 2022 menunjukkan bahwa praktik ekonomi sirkular dan pengolahan limbah ini mampu membantu mengembangkan ekosistem lingkungan untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan sesuai agenda PBB tahun 2030 [10].

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi literatur yang dapat memberikan dan menganalisis berbagai penelitian mengenai pengolahan limbah industri kimia (*chemical industrial waste treatment*) dalam satu dekade terakhir. Hal ini dilakukan untuk mendukung kemajuan dalam pengolahan limbah industri kimia di masa depan yang berkelanjutan, melalui hasil interpretasi berbagai referensi studi dari waktu ke waktu.

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Ada beberapa penelitian yang dianggap relevan dengan penelitian ini, yaitu diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Ni, Zhiqin et al. tahun 2023, mengenai *Systematic Literature Review* (SLR) pada pengelolaan limbah elektronik (*e-waste*) *Reverse Logistics* (RL) disertai analisis, ikhtisar dan juga agenda penelitian mendatang. Hasil analisis penelitian ini menunjukkan bahwa 162 artikel jurnal berbahasa Inggris dari tahun 1998 hingga 2021 yang diperoleh melalui sumber data Scopus, dapat diidentifikasi enam kriteria penelitian utama tentang limbah elektronik RL, yaitu 1) undang-undang dan kebijakan limbah elektronik, 2) hambatan, faktor penentu keberhasilan, dan solusi, 3) keputusan desain jaringan limbah elektronik RL, 4) evaluasi dan kerangka kerja sistem limbah elektronik RL, 5) perilaku pengembalian limbah elektronik konsumen, 6) inovasi limbah elektronik RL berbasis teknologi, sehingga dari keenam kriteria penelitian ini terbangun kerangka kerja konseptual untuk pengelolaan limbah elektronik RL dan juga telah mampu membahas keterbatasan dan kesenjangan penelitian dari masing-masing kriteria yang diakhiri dengan pengusulan agenda penelitian mendatang yang lebih terperinci seperti mengembangkan 13 kriteria penelitian [11].

Selain itu, berdasarkan penelitian mengenai *Systematic Literature Review* (SLR) terhadap manajemen *supply chain* berkelanjutan di industri kulit yang dilakukan oleh Chen, Xiaowei et al. tahun 2023 melalui analisis pada 61 artikel jurnal yang diterbitkan dari tahun 1992 sampai 2022 dengan sumber data Scopus dan Web of Science, menunjukkan bahwa terdapat lima kriteria yang diidentifikasi yaitu kriteria penggerak, praktik, hambatan, pendukung dan hasil tata kelola *supply chain* berkelanjutan di lingkungan industri kulit [12]. Selain itu, pada penelitian ini juga mengembangkan kerangka kerja konseptual agar masing-masing kriteria dapat saling terintegrasi, serta menghasilkan saran dan implikasi manajerial untuk kedepannya.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Karunasena, Gayani et al. pada tahun 2023 mengenai *Systematic Literature Review* (SLR) terhadap pengelolaan limbah cair di sektor konstruksi melalui metode PRISMA (*preferred reporting items for systematic reviews and meta-analysis*), alat Bibliometrik dan VOSviewer, menunjukkan bahwa dari hasil analisis pada 49 artikel jurnal yang terbit antara tahun 1992 sampai 2022, terdapat identifikasi pada tiga area fokus limbah cair yaitu sumber dan komposisi limbah cair konstruksi; metode pengendalian limbah cair konstruksi; dan pengelolaan limbah cair konstruksi [13]. Penelitian ini berhasil menyoroti kemajuan penelitian manajemen limbah cair konstruksi saat ini dan mengidentifikasi kebutuhan untuk penelitian di masa depan mengenai penerapan praktik pengelolaan limbah cair yang efisien dan efektif dalam proyek konstruksi, namun ternyata ditemukan adanya kekurangan pada integrasi antara penelitian tentang pengelolaan limbah cair dan penelitian tentang pencemaran air di lokasi konstruksi, namun mampu.

Terakhir, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Vieira, Octavia et al. tahun 2022 mengenai *Systematic Literature Review* (SLR) terhadap konversi limbah plastik menjadi bahan berbasis Graphene-2D yang bernilai, menunjukkan bahwa dari 142 artikel jurnal pada sumber data Scopus, yang termasuk ke dalam penelitian mengenai bahan berbasis *Graphene-2D* sebanyak 12 artikel saja (9,2%) yang kemudian dianalisis secara keseluruhan sehingga didapatkan adanya sintesis monolayer, beberapa layer dan multi-layer (termasuk *flash graphene*) yang diperoleh melalui 4 metodologi sintesis utama: (i) dekomposisi termal plastik langsung di atas substrat logam; (ii) dekomposisi termal sebelumnya dari plastik, dengan pelepasan gas hidrokarbon yang dihasilkan diumpankan ke sistem *Chemical Vapour Deposition* (CVD) yang mengandung substrat logam; (iii) dekomposisi termal yang diikuti oleh *ball milling* dan *microwave sintering*; dan (iv) *Flash Joule Heating* (FJH) [14].

Berdasarkan hasil beberapa penelitian di atas, relevansi pada penelitian ini adalah dalam hal bidang kajian dan metode yang digunakan dalam studi literatur, yaitu pada kajian pengolahan limbah melalui studi literatur yang menggunakan *Systematic Literature Review* (SLR) dengan metode PRISMA (*preferred reporting items for systematic reviews and meta-analysis*). Adapun perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah tidak ada penelitian mengenai studi literatur pada pengelolaan limbah industri kimia dalam kurun waktu satu dekade terakhir. Selain itu, perbedaan yang ada di dalam penelitian ini juga terletak pada teknik analisis dan kriteria inklusi yang digunakan. Penelitian ini akan menganalisis dan memberikan gambaran penelitian mengenai pengolahan limbah industri kimia (*chemical industrial waste treatment*) dalam satu dekade terakhir, dari tahun 2013 hingga 2023.

III. METODE PENELITIAN

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan *Systematic Literature Review* (SLR), yang bertujuan untuk mengidentifikasi mengklasifikasikan, dan menjelaskan hasil studi sesuai dengan kriteria inklusi [15]. Selain itu, proses pemilihan pada penelitian ini menggunakan alur diagram PRISMA (*preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses*) yang dapat menunjukkan aktivitas penyertaan dan pengecualian dari hasil pencarian data [16]. Variabel penelitian yang dianalisis meliputi distribusi publikasi artikel jurnal per tahun, distribusi Negara asal penulis artikel jurnal, distribusi jumlah sitasi artikel jurnal per tahun, serta metode dan temuan penelitian.

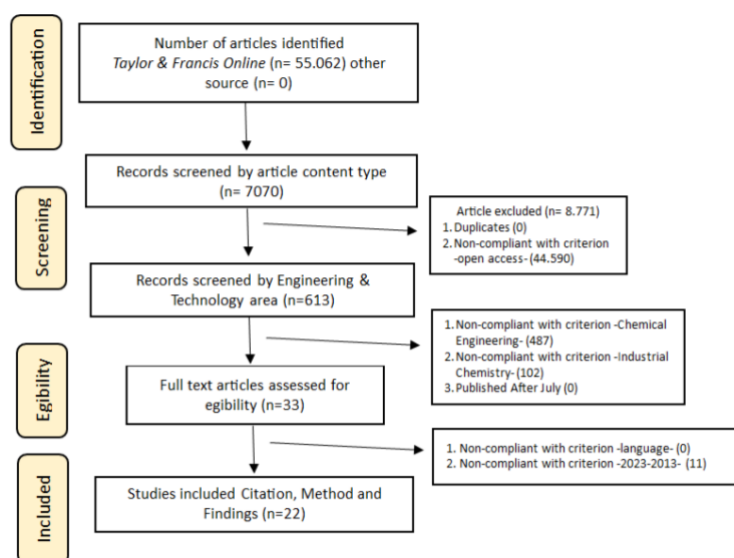
2. Kriteria Inklusi

Pencarian dilakukan melalui database *Taylor & Francis Online* dengan menetapkan beberapa kriteria inklusi seperti artikel jurnal penelitian yang diterbitkan dalam satu dekade terakhir, yaitu dari bulan Januari 2013 hingga Juli 2023, dengan istilah pencarian "*Chemical Industrial Waste Treatment*" yang muncul pada judul, abstrak, atau kata kunci. Kemudian memilih hanya bagian artikel jurnal saja pada bidang *Engineering & Technology*, dengan subbidang *Chemical Engineering*, dan subyek *Industrial Chemistry*. Selain itu, hanya dipilih artikel jurnal dengan akses yang terbuka dan yang berbahasa Inggris. Untuk buku atau bagian buku, prosiding konferensi, dan artikel pratinjau tidak dimasukkan dalam analisis.

3. Analisis Data

Istilah yang digunakan dalam pencarian artikel jurnal adalah "*Chemical Industrial Waste Treatment*" untuk mendapatkan artikel terkait. Peneliti melakukan identifikasi secara manual pada judul, abstrak dan kata kunci artikel untuk memastikan bahwa artikel yang diperoleh relevan dengan tujuan penelitian. Dalam penelitian ini, sampel artikel hanya diambil dari bidang *Engineering & Technology*, dengan sub-bidang *Chemical Engineering*, dan subyek *Industrial Chemistry*. Berdasarkan penelusuran awal, terdapat 613 artikel yang tersebar di 12 sub-bidang. Peneliti kemudian menyaring kembali dengan memilih salah satu sub-bidang yaitu *Chemical Engineering*, dan diperoleh 135 artikel jurnal yang tersebar dalam 14 subyek. Penulis memilih subyek yang lebih spesifik agar lebih mudah untuk dilakukan analisis terkait pengolahan limbah industri kimia pada satu dekade terakhir, dan memilih subyek *Industrial Chemistry*. Akhirnya, diperoleh 33 artikel jurnal yang kemudian oleh penulis dibaca dan diperiksa ulang semua dokumen untuk memastikan bahwa artikel jurnal target sesuai dengan kriteria dan tidak ada duplikasi. Sebelum memilih artikel akhir untuk ditinjau, dilakukan terlebih dahulu pemeriksaan abstrak, dan seluruh teks lengkap. Setelah menyaring data, akhirnya ada 11 artikel yang tidak cocok dengan topik yang sedang dianalisis dan kemudian dieliminasi.

Dalam proses seleksi, dilakukan pembacaan teks secara lengkap terhadap semua artikel. Untuk memberikan tinjauan sistematis yang akurat dan komprehensif, diperlukan tinjauan pada relevansi manuskrip dengan pertanyaan penelitian utama apakah artikel sudah memenuhi kriteria inklusi. Jika ada keraguan apakah dokumen memenuhi kriteria inklusi atau tidak maka berikutnya dilakukan evaluasi secara independen. Hasilnya, total terdapat 22 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan dipilih untuk ditinjau. Alur proses seleksi artikel disajikan dalam diagram Prisma berikut.



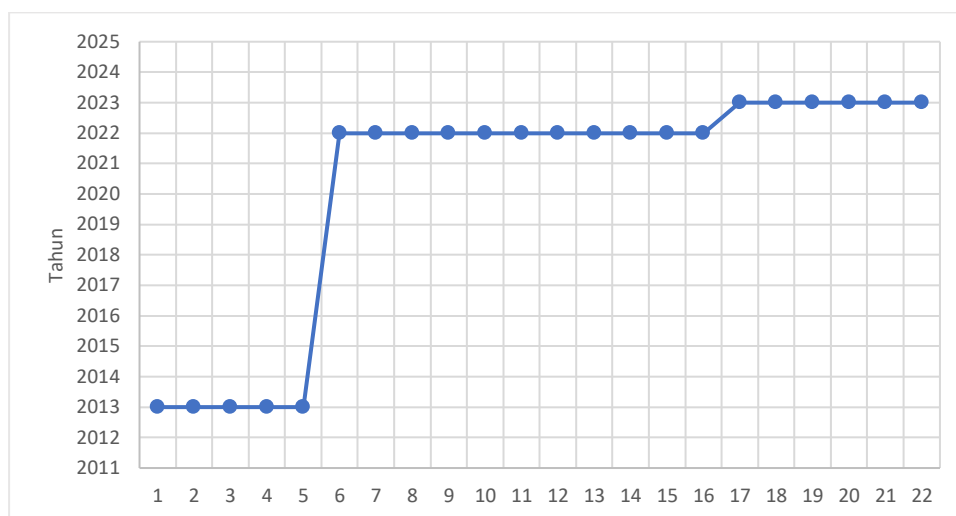
Gambar 1. Alur seleksi artikel jurnal

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis *Systematic Literature Review* (SLR) pada artikel jurnal yang terdapat di database *Taylor & Francis Online* selama rentang waktu 2013–2023, disajikan dalam 4 bagian, diantaranya meliputi distribusi publikasi artikel jurnal per tahun, distribusi Negara asal penulis artikel jurnal, distribusi jumlah sitasi artikel jurnal per tahun, serta metode dan temuan penelitian terkait dengan pengolahan limbah industri atau *chemical industrial waste treatment*.

1. Distribusi Publikasi Artikel Jurnal Per Tahun

Variabel pertama pada penelitian ini menunjukkan distribusi publikasi artikel jurnal terkait pengolahan limbah industri atau *chemical industrial waste treatment* pada periode Januari 2013 hingga juli 2023, dan disajikan pada Gambar 2 berikut.



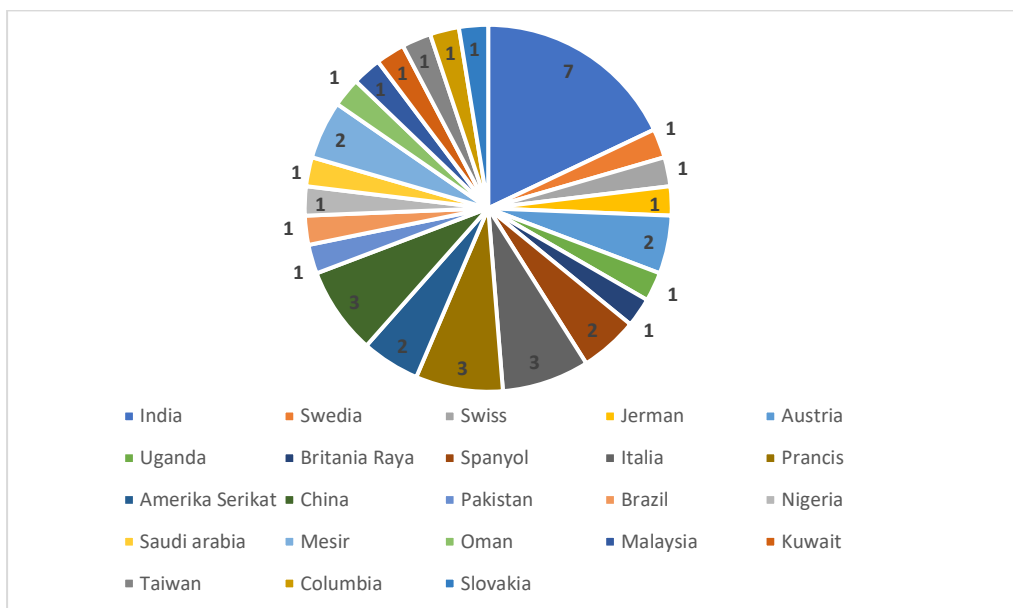
Gambar 2. Distribusi publikasi artikel jurnal per tahun

Berdasarkan hasil analisis distribusi publikasi per tahun, diketahui terdapat peningkatan jumlah publikasi selama 10 tahun terakhir, sejak Januari 2013 sampai Juli 2023. Jumlah publikasi artikel jurnal mengenai pengolahan limbah industri atau *chemical industrial waste treatment* terbanyak ditunjukkan pada tahun 2022 dengan jumlah 11 artikel jurnal, terbanyak berikutnya ditemukan pada tahun 2023 dengan 6 artikel jurnal, dan paling sedikit di tahun 2013 yaitu 5 artikel jurnal. Namun, antara tahun 2014 sampai 2021 terlihat tidak ada artikel jurnal yang terbit. Seluruh artikel yang diperoleh selama satu dekade terakhir berasal dari jurnal yang sama yaitu *Green Chemistry Letters and Reviews*. Hal ini yang menyebabkan temuan artikel jurnal mengenai pengolahan limbah industri tidak terlalu banyak ditemukan, dan dapat diakibatkan juga oleh adanya sistem seleksi atau pemilihan artikel yang disesuaikan dengan kriteria-kriteria inklusi pada penelitian ini.

Penelitian ini telah berhasil menyajikan gambaran yang komprehensif dari studi literatur sebelumnya dan dapat membantu peneliti dan praktisi memahami perkembangan penelitian mengenai *Chemical Industrial Waste Treatment* yang lebih lanjut. Berdasarkan hasil analisis, terlihat jelas adanya peningkatan yang signifikan pada volume publikasi selama 10 tahun terakhir, walaupun terdapat jeda waktu yang menunjukkan tidak adanya artikel yang terbit di tahun 2014 sampai dengan 2021. Temuan pada peningkatan publikasi ini sejalan dengan hasil studi literatur mengenai pengolahan limbah melalui penilaian siklus hidup bahan alkali aktif pada 246 artikel jurnal pada sumber data Scopus sejak tahun 2000 hingga 2022, yang melaporkan adanya peningkatan pesat dalam volume publikasi artikel dari tahun ke tahun [17]. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan limbah telah hadir menjadi sebuah tren dalam penelitian, khususnya dalam industri kimia karena dianggap mampu menghadirkan referensi terkini terkait dengan sistem pengolahan limbah industri yang aman dan berkelanjutan. Selain itu, tren perkembangan penelitian mengenai pengolahan limbah industri ini juga sesuai dengan anjuran dari United Nations Environment Program untuk menghindari, mengurangi, menggunakan kembali, mendaur ulang, memulihkan, mengolah, dan membuang limbah, agar dapat diadopsi sehingga mampu meminimalisasi aliran limbah ke TPA secara maksimal [18]. Dengan demikian, jumlah publikasi mengenai pengolahan limbah khususnya dalam industri kimia diprediksi akan meningkat secara signifikan dari tahun ke tahun.

2. Distribusi Negara Asal Penulis Artikel Jurnal

Variabel kedua ini membahas tentang distribusi Negara asal penulis artikel jurnal penelitian mengenai pengolahan limbah industri kimia atau *chemical industrial waste treatment*, dan hasil analisis pada 22 artikel disajikan dalam gambar berikut.



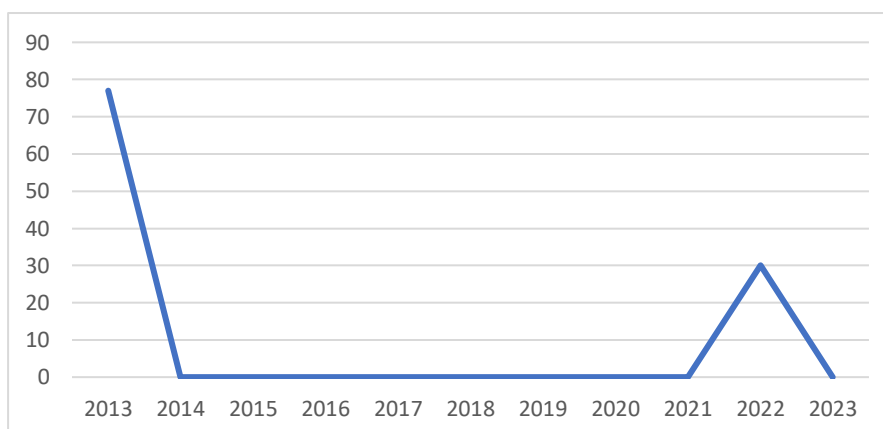
Gambar 3. Distribusi Negara asal penulis artikel jurnal

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa distribusi Negara asal penulis artikel jurnal mengenai pengolahan limbah industri kimia atau *chemical industrial waste treatment* pada jurnal *Green Chemistry Letters and Reviews* selama satu dekade terakhir mayoritas berasal dari India, diikuti oleh Prancis, China, dan Italia. Peringkat terbanyak berikutnya sebagai Negara asal penulis yaitu Amerika Serikat, Mesir, Spanyol dan Austria. Temuan ini memperlihatkan bahwa India sebagai Negara terbanyak tempat asal penulis artikel jurnal mengenai pengolahan limbah industri kimia, telah berkontribusi secara signifikan untuk mengembangkan penelitian di ruang lingkup industri kimia yang fokus pada pengolahan limbah. Adapun negara-negara lainnya seperti China dan Negara-negara di Eropa yang telah menunjukkan kontribusi riset terbanyak dalam hal pengolahan limbah. Hal ini sejalan dengan hasil studi literatur pada penelitian berkelanjutan yang juga fokus dalam pengolahan limbah, menunjukkan bahwa artikel jurnal yang diteliti sejak tahun 2013 sampai 2022 sebagian besar berasal dari Negara China dan Eropa (mayoritas berasal dari Spanyol dan Italia) [19].

Selain itu, terlihat adanya keberagaman Negara asal penulis seperti mulai muncul penulis yang berasal dari negara-negara di benua Asia, seperti Saudi Arabia, Oman, Pakistan, Kuwait dan Taiwan, termasuk Asia Tenggara seperti Malaysia. Dengan demikian, pada penelitian mengenai pengolahan limbah industri kimia ini mampu melibatkan banyak penulis untuk berkolaborasi dan berkontribusi dalam penelitian bidang ini, sehingga mampu menghasilkan penelitian yang lebih lengkap dan komprehensif sepanjang tahun.

3. Distribusi Jumlah Sitasi Artikel Jurnal Per Tahun

Variabel ketiga mengenai distribusi jumlah sitasi artikel jurnal per tahun, dapat diketahui dari 22 artikel jurnal yang telah dianalisis, hasilnya disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 4. Distribusi jumlah sitasi artikel jurnal per tahun

Berdasarkan hasil analisis pada distribusi jumlah sitasi artikel jurnal per tahun selama satu dekade terakhir dari 2013 sampai 2023 dalam jurnal *Green Chemistry Letters and Reviews*, dapat diketahui bahwa jumlah sitasi terbanyak ditunjukkan oleh tahun 2013 dengan total jumlah 77 sitasi yang tersebar di lima artikel jurnal, masing-masing artikel jurnal tersebut mendapatkan 25 sitasi, 19 sitasi, 19 sitasi, 7 sitasi, dan 7 sitasi. Sitasi terbanyak berikutnya terdapat pada tahun 2022 dengan total jumlah 30 sitasi yang tersebar di tujuh artikel jurnal, masing-masing mendapatkan 15 sitasi, 6 sitasi, 3 sitasi, 2 sitasi, 2 sitasi, 1 sitasi, dan 1 sitasi.

Adapun jika diurutkan berdasarkan 5 peringkat jumlah sitasi terbanyak, maka diperoleh 7 artikel jurnal dengan peringkat pertama ditunjukkan oleh hasil penelitian Yanga, Jinming et al. tahun 2013 mengenai prosedur bersih untuk sintesis 1,4-dihydropyridines melalui reaksi Hantzsch dalam air, dengan jumlah sitasi 25. Peringkat berikutnya memiliki jumlah sitasi 19 yang terdapat 2 artikel jurnal di tahun 2013, diantaranya pada artikel penelitian yang dibuat oleh Abdul, Ebtesam et al. mengenai metodologi hijau dalam sintesis organik; perkembangan terkini di dalam laboratorium, serta artikel penelitian yang ditulis oleh Aerrya, Swati et al. mengenai asetilasi kemoselektif amina dan tiol menggunakan partikel nano Ni terdispersi. Sitasi terbanyak berikutnya berjumlah 15 sitasi yang terdapat pada artikel jurnal Yina, Xi-Tao et al. pada tahun 2022 mengenai semikonduktor LaFeO_3 berpori aktif dengan Sr-doped berperforma tinggi yang disiapkan melalui metode sol-gel. Sitasi terbanyak berikutnya yaitu berjumlah 7 sitasi yang terdapat pada dua artikel yang berbeda di tahun 2013, diantaranya pada artikel jurnal yang ditulis oleh Chaskara, Atul et al. mengenai sintesis 1-aryl-1H,3H-tiazolo[3,4-a]benzimidazol yang efisien dan praktis menggunakan natrium hidrogen sulfat dengan tambahan silika sebagai katalis heterogen, serta artikel jurnal yang ditulis oleh Sriniyasa B. et al. mengenai sintesis tandem termediasi PEG-600, hijau dan efisien, dari N-tersubstitusi-2-styrylquinazolin-4-1. Pada peringkat kelima sitasi terbanyak berjumlah 6 sitasi yang ditemukan pada artikel jurnal yang ditulis oleh Abdel, Reda et al. tahun 2022 mengenai sintesis hijau sistem poliol heterosiklik nanopartikel seng sulfida-organik sebagai penghambat korosi anti-korosi dan anti-bakteri yang ramah lingkungan untuk baja pada lingkungan asam.

Adanya fluktuasi pada jumlah sitasi artikel jurnal per tahunnya ini menjadi perhatian bahwa masih belum banyak penulis yang tertarik untuk melakukan penelitian lebih lanjut dan membahas tentang pengolahan limbah khususnya dalam industri kimia, sehingga ini mampu menjadi peluang untuk para peneliti kedepannya agar menghasilkan penelitian yang lebih lengkap dan komprehensif sepanjang tahun.

4. Metode dan Temuan Penelitian

Variabel keempat yaitu mengenai metode dan temuan penelitian. Dari 33 artikel jurnal yang diseleksi menjadi 22 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 22 artikel jurnal yang telah dianalisis disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 1. Hasil analisis artikel jurnal

| No. | Penulis | Judul | Tahun | Sitasi | Negara Asal Penulis |
|-----|---|--|-------|--------|----------------------------------|
| 1 | Jinming Yanga, Chenning Jiangb, Jiaojiao Yanga, Cunwei Qianband Dong Fang[20] | <i>A clean procedure for the synthesis of 1,4-dihydropyridines via Hantzsch reaction in water</i> | 2013 | 25 | Republik Rakyat China |
| 2 | Ebtesam Abdul Aziz Hafeza, Saleh Mohammed Al-Mousawib, Moustafa Sherief Moustafab, Kmal Usef Sadekcand Mohamed Hilmy Elnagdi[21] | <i>Green methodologies in organic synthesis: recent developments in our laboratories</i> | 2013 | 19 | Mesir, Kuwait |
| 3 | Swati Aerrya, Ajeet Kumara, Amit Saxenaa, Arnab Deband Subho Mozumdar[22] | <i>Chemoselective acetylation of amines and thiols using monodispersed Ni-nanoparticles</i> | 2013 | 19 | India, Columbia, Amerika Serikat |
| 4 | Xi-Tao Yina, Hua Huangb, Jie-Li Xieb, Davoud Dastanc, Jing Lid, Ying Liua, Xiao-Ming Tana, Xiao-Chun Gaoa, Wahab Ali Shaheand Xiao-Guang Ma[23] | <i>High-performance visible-light active Sr-doped porous LaFeO_3 semiconductor prepared via sol-gel method</i> | 2022 | 15 | Republik Rakyat China, Pakistan |
| 5 | Atul Chaskara, Vikas Padalkarb, Kiran Phatangareb, Santosh Takalecand Kaliyappan Murugan[24] | <i>An efficient and practical synthesis of 1-aryl-1H,3H-thiazolo[3,4-a]benzimidazole using silica-supported sodium hydrogen sulfate as a</i> | 2013 | 7 | Italia, Taiwan, India |

heterogeneous catalyst

| | | | | | |
|----|---|---|------|---|--------------------------------|
| 6 | B. Srinivasa Reddy, A. Naidu, and P. K. Dubey[25] | <i>PEG-600-mediated, green, and efficient, tandem syntheses of N-substituted-2-styryl quinazoline-4-ones</i> | 2013 | 7 | India |
| 7 | Reda Abdel Hameeda,b, Mohamad Faridea,b, Mohamad Othmana,b, Bader Huwaimelb,c, Saedah Al-Mhyawid, Ahmed Shamroukhe, Freaah Alshammaryf, Enas Aljuhanigand Metwally Abdallah[26] | <i>Green synthesis of zinc sulfide nanoparticles-organic heterocyclic polyol system as eco-friendly anti-corrosion and anti-bacterial corrosion inhibitor for steel in acidic environment</i> | 2022 | 6 | Saudi Arabia, Mesir |
| 8 | Jangam Lakshmidavia, Bandameeda Ramesh Naidua, Satya Kumar Avulab, Anjoy Majhic, Poh Wai Chiad,e, Ahmed Al-Harrasiband Katta Venkateswarlu[27] | <i>A waste valorization strategy for the synthesis of phenols from(hetero)aryl boronic acids using pomegranate peel ash extract</i> | 2022 | 3 | India, Oman, Malaysia |
| 9 | Ashleigh Naysmitha, Naeem S. Mianband Sohel Rana[28] | <i>Development of conductive textile fabric using Plackett–Burman optimized green synthesized silver nanoparticles and in situ polymerized polypyrrole</i> | 2022 | 2 | Britania Raya (United Kingdom) |
| 10 | Ludivine Vieira-Sellaia, Mercedes Quintanaa, Ousmane Diopb, Olivier Mercierc, Sebastien Tarrita, Nawal Raimib,Alissan Bab, Benoit Maunitaand Marie-Josephe Galmier[29] | <i>Green HPLC quantification method of lamivudine, zidovudine, and nevirapine with identification of related substances in tablets</i> | 2022 | 2 | Prancis |
| 11 | Amandine L. Flourat, Nour Zeaiter, Erwan Vallée, V. P. Thinh Nguyen, Sami Fadlallahand Florent Allais[30] | <i>A sustainable preparative-scale chemo-enzymatic synthesis of 6-hydroxy-5,7-dimethoxy-2-naphthoic acid (DMNA) from sinapic acid</i> | 2022 | 1 | Prancis |
| 12 | Zuzana Kudličkováa, Martin Stahorskýb, Radka Michalková, Mária Vilkováaand Matej Baláž[31] | <i>Mechanochemical synthesis of indolyl chalcones with antiproliferative activity</i> | 2022 | 1 | Slovakia |
| 13 | Masudulla Khan, Azmat Ali Khan, Aiman Parveen, Kim Min, Virendra Kumar Yadav, Azhar U. Khan & Mahboob Alam[32] | <i>Mitigating the growth of plant pathogenic bacterium, fungi, and nematodes by using plant-mediated synthesis of copper oxide nanoparticles (CuO NPs)</i> | 2023 | 0 | India |
| 14 | Márcia G. A. da Cruza, Joy N. Onwumerea, Jianhong Chena, Björn Beeleb, Maksym Yaremac, Serhiy Budnykd, Adam Slabona,band Bruno V. M. Rodrigues [33] | <i>Solvent-free synthesis of photoluminescent carbon nanoparticles from lignin-derived monomers as feedstock</i> | 2023 | 0 | Swedia, Jerman, Swiss, Austria |
| 15 | Viswanathan Sukumara, Saravanan Chinnusamya, Hemanth Kumar Chanduluruband Seetharaman Rathinam[34] | <i>Method development and validation of Atorvastatin, Ezetimibe and Fenofibrate using RP-HPLC along with their forced degradation studies and greenness profiling</i> | 2023 | 0 | India |
| 16 | Naveenarani Dharuman, Karunanidhi Santhana Lakshmi and Manikandan Krishnan[35] | <i>Environmental benign RP-HPLC method for the simultaneous estimation of anti-hypertensive drugs using analytical quality by design</i> | 2023 | 0 | India |

| | | | | | |
|----|--|---|------|---|--------------------------|
| 17 | Jessica Pichler, Rosa Maria Edera, Lukas Widdera, Markus Vargaa, Martina Marchetti-Deschmannband Marcella Frauscher[36] | <i>Moving towards green lubrication: tribological behavior and chemical characterization of spent coffee grounds Oi</i> | 2023 | 0 | Austria |
| 18 | Ibrahim Karumea, Simon Bbumbaa, Moses Kigozib, Alice Nabatanzic, Is'harq Z. T. Mukasadand Solomon Yiga[37] | <i>One-pot removal of pharmaceuticals and toxic heavy metals from water using xerogel-immobilized quartz/banana peels-activated carbon</i> | 2023 | 0 | Uganda |
| 19 | Cristina Blazquez-Barbadilloa,c, Juan Francisco González, Andrea Porcheddub, David Virieuxc, José Carlos Menéndezand Evelina Colacino[38] | <i>Benign synthesis of therapeutic agents: domino synthesis of unsymmetrical 1,4-diaryl-1,4-dihydropyridines in the ball-mill</i> | 2022 | 0 | Spanyol, Italia, Prancis |
| 20 | Davide Blasia, Davide Mestoa, Pietro Cotugnoa, Cosima D. Calvanoa, Marco Lo Prestiband Gianluca M. Farinola[39] | <i>Revealing the effects of the ball milling pretreatment on the ethanolsolvofractionation of lignin from walnut and pistachio shells</i> | 2022 | 0 | Italia, Amerika Serikat |
| 21 | Jorge Gómez-Carpintero, Clara Cabrero, Juan Domingo Sánchez, Juan Francisco González and José Carlos Menéndez[40] | <i>A sequential multistep process for the fully mechanochemical, one-pot synthesis of the antiepileptic drug rufinamide</i> | 2022 | 0 | Spanyol |
| 22 | Moses O. Alfreda,b,c, Chidinma G. Olorunnislaa, Temidayo T. Oyetundeb, Peter Darea, Raquel R. C. Vilelad, Andrea de Camargod, Nurudeen A. Oladojae, Martins O. Omorogiea,b, Olumide D. Olukannia,f, Artur deJesus Motheocand Emmanuel I. Unuabonah[41] | <i>Sunlight-driven photocatalytic mineralization of antibiotic chemical and selected enteric bacteria in water via zinc tungstate-imprinted kaolinite</i> | 2022 | 0 | Brazil, Nigeria |

Berdasarkan tabel hasil analisis di atas, diketahui bahwa dari 22 artikel jurnal mengenai pengolahan limbah industri kimia pada jurnal *Green Chemistry Letters and Reviews* terdapat 5 peringkat teratas jumlah sistasi artikel jurnal, yaitu didapatkan oleh artikel nomor 1 sampai dengan nomor 7. Pada artikel jurnal nomor 1, diketahui bahwa metode penelitian yang digunakan adalah sintesis 1,4-dihidropiridin melalui reaksi Hantzsch satu pot dalam media berair tanpa menggunakan katalis dan/atau pelarut organik, dengan temuan penelitiannya berupa perancangan prosedur baru, bersih, dan efisien untuk sintesis 1,4-dihidropiridin melalui reaksi Hantzsch satu pot dengan hasil yang memuaskan sebesar 86-96%, sehingga keuntungannya adalah terhindar dari kebocoran dan minim emisi, kinerja dan efisiensi tinggi yang dapat didaur ulang, berpotensi untuk mengaplikasikan *green synthesis* [20].

Artikel nomor 2 menunjukkan metode penelitian terkait dengan pengembangan metode ramah lingkungan untuk sintesis zat heteroaromatik polifungsional, dengan temuannya berupa penggunaan metodologi baru hijau kami telah mampu menghasilkan sejumlah besar zat aromatik polifungsional dengan cara yang sangat efisien, serta tidak hanya minim bahaya dibandingkan dengan metode preparatif klasik, tetapi juga lebih ekonomis [21].

Pada artikel nomor 3, terlihat bahwa metode penelitian yang digunakan adalah penggunaan nanopartikel Ni yang efisien untuk mengkatalisis asetilasi berbagai amina dan tiol dalam kondisi lingkungan pada suhu kamar, dengan hasil penelitiannya yaitu telah menemukan partikel nano Ni sebagai katalis yang efisien untuk asetilasi tiol dan amina alifatik dan aromatik, sehingga melalui metode ini berlangsung sangat cepat, dapat menjadi alternatif dari penggunaan reagen mahal dan suhu tinggi, serta mampu memperoleh hasil yang lebih baik [22].

Artikel nomor 4 menunjukkan bahwa metode penelitian yang digunakan yaitu membuat sampel LaFeO_3 berpori yang didoping oleh Sr melalui metode sol-gel, dengan temuan penelitiannya adalah terdapat hasil eksperimen perangkap radikal yang mengungkapkan bahwa spesies $\bullet\text{OH}$ adalah oksidan menengah dominan yang terlibat dalam oksidasi 2,4-DCP dan RhB dibandingkan sampel yang dioptimalkan, sehingga penelitian ini dapat memberikan rute baru untuk remediasi lingkungan berbasis semikonduktor LaFeO_3 [23].

Pada artikel nomor 5, metode penelitian yang ditemukan adalah Pemanfaatan reaksi multikomponen dan penerapan katalis heterogen, dengan cara sintesis 1-aril-1H,3H-tiazolo[3,4-a]benzimidazole turunan melalui reaksi kondensasi dari o-fenilendiamina, asam 2-merkptoasetat, dan aldehida aromatic menggunakan $\text{NaHSO}_4 \times \text{SiO}_2$

sebagai katalis. Adapun temuan penelitiannya yaitu dapat diketahui bahwa Natrium hidrogen sulfat ($\text{NaHSO}_4 \times \text{SiO}_2$) yang didukung oleh silika telah mampu mengkatalisis reaksi tiga komponen secara efisien, antara lain komponen of o-phenylenediamine, asam 2-mercaptoacetic, dan aldehida aromatik, dan membentuk 1-aril-1H,3H-thiazolo yang sesuai dengan [3,4-a]benzimidazol, sehingga katalis ini dipastikan tidak mahal dan ramah lingkungan serta bekerja dalam kondisi heterogen [24].

Kemudian, pada artikel nomor 6 menunjukkan bahwa metode penelitian yang digunakan adalah Analisis Polietilen glikol (PEG)-dimediasi, hijau dan efisien, sintesis tandem dari N-tersubstitusi-2-styrylquinazolinones. Temuan penelitian ini yaitu telah berhasil mengembangkan sintesis tandem yang efisien, ringan, dan nyaman dari N-tersubstitusi-2-styryl-4(3H)-quinazolinones(5a l) dalam PEG-600 dalam dua rute (1235 atau 1245) [25].

Pada artikel nomor 7 diketahui bahwa metode penelitian yang digunakan adalah menggunakan prinsip Penggunaan sintesis hijau, karakterisasi dan evaluasi nano sulfida seng (ZnS) dengan metode presipitasi kimia. Di sini, Nanopartikel seng sulfida dibuat dengan metode pengendapan kimia menggunakan alkohol polivinil heterosiklik, PVA sebagai pemeka. Hasil penelitian pada artikel jurnal ini adalah adanya penambahan PVA dan PEG sebagai material poliol organik meningkatkan sifat adsorpsi dan inhibisi nanopartikel seng sulfida pada permukaan baja [26].

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 pengolahan limbah industri kimia. Sebagian besar metode penelitian yang digunakan adalah melakukan sintesis hijau yang memperhatikan keberlangsungan lingkungan dan juga menerapkan reaksi kimia yang efisien dan efektif. Sedangkan pada temuan penelitiannya secara keseluruhan bernilai positif karena dapat menghasilkan kebenaran yang dapat dibuktikan dengan adanya kesesuaian antara target eksperimen dengan hasil eksperimen. Hal ini mampu mendorong ketertarikan para peneliti di masa mendatang untuk terus bereksplorasi dalam melakukan penelitian dalam bidang industri kimia, khususnya mengenai pengolahan limbah yang lebih komprehensif dan lebih mendalam.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan karakteristik artikel penelitian mengenai pengolahan limbah industri kimia atau *chemical industrial waste treatment* disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Terdapat peningkatan yang signifikan pada volume publikasi selama 10 tahun terakhir sejak 2013 hingga 2023, walaupun terdapat jeda waktu antara tahun 2014 sampai dengan 2021 yang menunjukkan tidak ada artikel yang terbit.
2. Negara asal penulis artikel penelitian mengenai pengolahan limbah industri kimia pada jurnal *Green Chemistry Letters and Reviews* selama satu dekade terakhir yaitu mayoritas berasal dari India, diikuti oleh Prancis, China, dan Italia, namun ternyata terdapat keberagaman tempat para penulis berasal, seperti mulai muncul penulis yang berasal dari negara-negara di benua Asia, seperti Saudi Arabia, Oman, Pakistan, Kuwait dan Taiwan, termasuk Asia Tenggara seperti Malaysia.
3. Jumlah sitasi paling banyak terlihat pada tahun 2013 dengan total 77 sitasi yang tersebar di lima artikel jurnal, masing-masing mendapatkan 25 sitasi, 19 sitasi, 19 sitasi, 7 sitasi, dan 7 sitasi. Sitasi terbanyak berikutnya terdapat pada tahun 2022 dengan total jumlah 30 sitasi yang tersebar di tujuh artikel jurnal, masing-masing mendapatkan 15 sitasi, 6 sitasi, 3 sitasi, 2 sitasi, 2 sitasi, 1 sitasi, dan 1 sitasi.
4. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini sebagian besar adalah dengan melakukan sintesis hijau yang memperhatikan keberlangsungan lingkungan dan juga menerapkan reaksi kimia yang efisien dan efektif. Sedangkan pada temuan penelitian secara keseluruhan menampilkan hasil yang positif karena dapat membuktikan kebenaran yang dapat didukung dengan adanya kesesuaian antara target eksperimen dengan hasil eksperimen.

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 Fakultas Teknik dan Pertanian, serta Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Setia Budi Rongkasbitung, yang telah membantu dan memberi dukungan bantuan dalam bentuk dana hibah untuk publikasi artikel jurnal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Garcia Fracaro *et al.*, “Towards design guidelines for virtual reality training for the chemical industry,” *Educ. Chem. Eng.*, vol. 36, pp. 12–23, 2021, doi: 10.1016/j.ece.2021.01.014.
- [2] R. Srinivasan, B. Srinivasan, M. U. Iqbal, A. Nemet, and Z. Kravanja, “Recent developments towards enhancing process safety: Inherent safety and cognitive engineering,” *Comput. Chem. Eng.*, vol. 128, pp. 364–383, 2019, doi: 10.1016/j.compchemeng.2019.05.034.
- [3] J. Lee, I. Cameron, and M. Hassall, “Improving process safety: What roles for digitalization and industry 4.0?,” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 132, pp. 325–339, 2019, doi: 10.1016/j.psep.2019.10.021.
- [4] A. Bhusari, A. Goh, H. Ai, S. Sathanapally, M. Jalal, and R. A. Mentzer, “Process safety incidents across 14 industries,” *Process Saf. Prog.*, vol. 40, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: 10.1002/prs.12158.
- [5] A. Toniato, O. Schilter, and T. Laino, “The Role of AI in Driving the Sustainability of the Chemical Industry,” *Chimia (Aarau)*, vol. 77, no. 3, pp. 144–149, 2023, doi: 10.2533/chimia.2023.144.
- [6] J. A. Malik and S. Marathe, *Ecological and Health Effects of Building Materials*, no. September. 2021.
- [7] P. K. Singh, P. S. Pollution, N. S. Pollution, G. Gases, G. Effect, and O. L. Depletion, “Principles and Applications of Environmental Biotechnology for a Sustainable Future,” *Princ. Appl. Environ. Biotechnol. a Sustain. Futur.*, 2017, doi: 10.1007/978-981-10-1866-4.
- [8] S. Belayutham, V. A. González, and T. W. Yiu, “A cleaner production-pollution prevention-based framework for construction site induced water pollution,” *J. Clean. Prod.*, vol. 135, pp. 1363–1378, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.003.
- [9] J. A. Silva, “Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review,” *Sustain.*, vol. 15, no. 14, 2023, doi: 10.3390/su151410940.
- [10] A. Di Vaio, S. Hasan, R. Palladino, and R. Hassan, “The transition towards circular economy and waste within accounting and accountability models: a systematic literature review and conceptual framework,” *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 25, no. 1, pp. 734–810, 2023, doi: 10.1007/s10668-021-02078-5.
- [11] Z. Ni, H. K. Chan, and Z. Tan, “Systematic literature review of reverse logistics for e-waste: overview, analysis, and future research agenda,” *Int. J. Logist. Res. Appl.*, 2021, doi: 10.1080/13675567.2021.1993159.
- [12] X. Chen, L. Xu, Z. Ren, F. Jia, and Y. Yu, “Sustainable supply chain management in the leather industry: a systematic literature review,” *Int. J. Logist. Res. Appl.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–41, 2022, doi: 10.1080/13675567.2022.2104233.
- [13] G. Karunasena *et al.*, “Liquid waste management in the construction sector: a systematic literature review,” *Int. J. Constr. Manag.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–11, 2023, doi: 10.1080/15623599.2023.2211416.
- [14] O. Vieira, R. S. Ribeiro, J. L. Diaz de Tuesta, H. T. Gomes, and A. M. T. Silva, “A systematic literature review on the conversion of plastic wastes into valuable 2D graphene-based materials,” *Chem. Eng. J.*, vol. 428, 2022, doi: 10.1016/j.cej.2021.131399.
- [15] J. Higgins and S. Green, *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. San Francisco: Wiley-BlackWell, 2008.
- [16] E. Stovold, D. Beecher, R. Foxlee, and A. Noel-Storr, “Study flow diagrams in Cochrane systematic review updates: An adapted PRISMA flow diagram,” *Syst. Rev.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2014, doi: 10.1186/2046-4053-3-54.
- [17] M. Nikravan, R. Firdous, and D. Stephan, “Life cycle assessment of alkali-activated materials: a systematic literature review,” *Low-carbon Mater. Green Constr.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–24, 2023, doi: 10.1007/s44242-023-00014-6.
- [18] S. F. Clarke, W. Nawaz, C. Skelhorn, and A. Amato, “Towards a more sustainable waste management in Qatar: Retrofitting mindsets and changing behaviours,” *QScience Connect*, vol. 2017, no. 1, 2017, doi: 10.5339/connect.2017.qgbc.4.
- [19] M. Lombardi, D. Berardi, M. Galuppi, and M. Barbieri, “Green Tunnel Solutions: An Overview of Sustainability Trends in the Last Decade (2013–2022),” *Buildings*, vol. 13, no. 2, 2023, doi: 10.3390/buildings13020392.
- [20] J. Yang, C. Jiang, J. Yang, C. Qian, D. Fang, and P. Taylor, “A clean procedure for the synthesis of 1, 4-dihydropyridines via Hantzsch reaction in water,” *Green Chem. Lett. Rev.*, vol. 8253, 2013, doi: 10.1080/17518253.2013.781686.
- [21] E. Abdul *et al.*, “Green methodologies in organic synthesis: recent developments in our laboratories,” *Green Chem. Lett. Rev.*, vol. 8253, 2013, doi: 10.1080/17518253.2012.740078.
- [22] S. Aerry, A. Kumar, A. Saxena, A. De, and S. Mozumdar, “Chemoselective acetylation of amines and thiols using monodispersed Ni-nanoparticles,” *Green Chem. Lett. Rev.*, vol. 8253, 2013, doi: 10.1080/17518253.2012.737029.
- [23] X. Yin *et al.*, “High-performance visible-light active Sr-doped porous LaFeO₃ semiconductor prepared via sol-gel method,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2022, doi: 10.1080/17518253.2022.2112093.
- [24] A. Chaskar, V. Padalkar, K. Phatangare, and S. Takale, “An efficient and practical synthesis of 1-silica-supported

- sodium hydrogen sulfate as a heterogeneous catalyst,” *Green Chem. Lett. Rev.*, vol. 8253, 2013, doi: 10.1080/17518253.2012.739209.
- [25] B. S. Reddy, A. Naidu, and P. K. Dubey, “PEG-600-Mediated, Green and Efficient, Tandem Syntheses of N-substituted-2-styrylquinazolin-4-ones,” *Green Chem. Lett. Rev.*, vol. 8253, 2013, doi: 10.1080/17518253.2012.742142.
- [26] R. A. Hameed *et al.*, “Green synthesis of zinc sulfide nanoparticles- organic heterocyclic polyol system as eco-friendly anti-corrosion and anti-bacterial corrosion inhibitor for steel in acidic environment,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2022, doi: 10.1080/17518253.2022.2141585.
- [27] J. Lakshmidēvi *et al.*, “A waste valorization strategy for the synthesis of phenols from (hetero) aryl boronic acids using pomegranate peel ash extract,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2022, doi: 10.1080/17518253.2022.2082261.
- [28] A. Naysmith, N. S. Mian, and S. Rana, “Development of conductive textile fabric using Plackett – Burman optimized green synthesized silver nanoparticles and in situ polymerized polypyrrole Development of conductive textile fabric using Plackett – Burman optimized green synthesized silver nanop,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2023, doi: 10.1080/17518253.2022.2158690.
- [29] L. Vieira-sellaĩ *et al.*, “Green HPLC quantification method of lamivudine , zidovudine, and nevirapine with identification of related substances in tablets,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2022, doi: 10.1080/17518253.2022.2129463.
- [30] A. L. Flourat, N. Zeaiter, E. Vallée, V. P. T. Nguyen, and F. Allais, “A sustainable preparative-scale chemo-enzymatic synthesis of 6-hydroxy-5 , 7-dimethoxy-2-naphthoic acid (DMNA) from sinapic acid,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2022, doi: 10.1080/17518253.2022.2115317.
- [31] Z. Kudličková, M. Stahorský, R. Michalková, and M. Vilková, “Mechanochemical synthesis of indolyl chalcones with antiproliferative activity,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2022, doi: 10.1080/17518253.2022.2089061.
- [32] M. Khan *et al.*, “Mitigating the growth of plant pathogenic bacterium , fungi , and nematode by using plant-mediated synthesis of copper oxide nanoparticles (CuO NPs),” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2023, doi: 10.1080/17518253.2023.2177520.
- [33] M. G. A. Cruz *et al.*, “Solvent-free synthesis of photoluminescent carbon nanoparticles from lignin-derived monomers as feedstock,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2023, doi: 10.1080/17518253.2023.2196031.
- [34] V. Sukumar, S. Chinnusamy, H. Kumar, and S. Rathinam, “Method development and validation of Atorvastatin , Ezetimibe, and Fenofibrate using RP- HPLC along with their forced degradation studies and greenness profiling,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2023, doi: 10.1080/17518253.2023.2198651.
- [35] N. Dharuman and K. S. Lakshmi, “Environmental benign RP-HPLC method for the simultaneous estimation of anti-hypertensive drugs using analytical quality by design,” *Green Chem. Lett. Rev.*, no. May, 2023, doi: 10.1080/17518253.2023.2214176.
- [36] J. Pichler *et al.*, “Moving towards green lubrication : tribological behavior and chemical characterization of spent coffee grounds oil,” *Green Chem. Lett. Rev.*, no. May, 2023, doi: 10.1080/17518253.2023.2215243.
- [37] I. Karume *et al.*, “One-pot removal of pharmaceuticals and toxic heavy metals from water using xerogel-immobilized quartz / banana peels-activated carbon,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2023, doi: 10.1080/17518253.2023.2238726.
- [38] C. Blazquez-Barbadillo *et al.*, “Benign synthesis of therapeutic agents: domino dihydropyridines in the ball-mill,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2022, doi: 10.1080/17518253.2022.2129464.
- [39] D. Blasi *et al.*, “Revealing the effects of the ball milling pretreatment on the ethanosolv fractionation of lignin from walnut and pistachio shells,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2022, doi: 10.1080/17518253.2022.2143244.
- [40] J. Gómez-carpintero *et al.*, “A sequential multistep process for the fully mechanochemical , one-pot synthesis of the antiepileptic drug rufinamide of the antiepileptic drug ru fi namide,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2022, doi: 10.1080/17518253.2022.2123717.
- [41] M. O. Alfred *et al.*, “Sunlight-driven photocatalytic mineralization of antibiotic chemical and selected enteric bacteria in water via zinc tungstate-imprinted kaolinite,” *Green Chem. Lett. Rev.*, 2022, doi: 10.1080/17518253.2022.2124889.