

Recent Trends in Green Chemistry: A Bibliometric Analysis of Materials and Innovations

Dewi Satria Ahmar^{*1}, Muhammad Fath Azzajjad²

¹Pendidikan Kimia, Universitas Tadulako, Indonesia;

²Pendidikan Kimia, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Indonesia.

Email: dewisatriaahmar@gmail.com^{*1}, muhammad.fath86@gmail.com²

Abstract

This descriptive study conducted a bibliometric analysis to describe research trends in Green Chemistry literature. The secondary data used were 200 scientific publications on Green Chemistry published between 2020 and 2024. The analysis results show that Green Chemistry has a strong interest and a significant number of publications in the world of scientific research. The high average citations per researcher indicate the relevance and significance of the research in the scientific community as well as its relevance to responding to complex environmental and industrial challenges. The high average number of publications per researcher shows the great interest and continuous contribution of researchers in expanding knowledge about green chemistry. This emphasizes the importance of working together, communicating, and committing to sustainable research to address environmental and business issues. Some evidence of the impact and relevance of research in the scientific literature includes high h and g indices and significant average citations per year. Articles on green chemistry continue to attract the attention of the scientific community and make significant contributions to the advancement of our knowledge and understanding of the field. Recent trends show significant interest in elements such as process, leafe, and cooper, indicating the direction of the latest research and developments in green chemistry.

Article History:

Received 15 May 2024

Revised 24 May 2024

Accepted 26 May 2024

Published 08 April 2024

Keyword:

Trends; Bibliometric;
Green Chemistry

© 2024 The Authors. This open access article is distributed under a (CC-BY License) 

DOI: <https://doi.org/10.47945/search.v2i2.1334>

How to Cite:

Ahmar, Dewi Satria., Azzajjad, Muhammad Fath. (2024). Recent Trends in Green Chemistry: A Bibliometric Analysis of Materials and Innovations. *Science Education Research (Search) Journal*, 2(2), 9-24.

PENDAHULUAN

Green Chemistry telah menjadi fokus utama dalam industri kimia di era di mana orang semakin peduli dengan keberlanjutan lingkungan (Mishra et al., 2023). Konsep ini menekankan pembuatan proses kimia yang ramah lingkungan dari bahan baku hingga produk terakhir, dengan meminimalkan penggunaan bahan berbahaya dan pengurangan dampak lingkungan lainnya. *Green Chemistry* memiliki potensi besar untuk mengurangi jejak karbon industri (Chen et al., 2022). Karena peran pentingnya dalam mengurangi dampak lingkungan dan mempromosikan keberlanjutan, banyak peneliti dan industri telah berkonsentrasi pada fakta-fakta fenomena yang relevan tentang kimia hijau. Ini adalah bukti dari peningkatan besar dalam beberapa tahun terakhir dalam jumlah publikasi ilmiah yang membahas kimia hijau (Sternberg et al., 2021). Pengembangan katalis hijau, proses produksi ramah lingkungan, dan desain produk yang bertanggung jawab lingkungan adalah beberapa topik penelitian dalam kimia hijau (Azzajjad et al., 2024). Ini menunjukkan upaya untuk memasukkan prinsip-prinsip kimia hijau ke dalam seluruh rantai nilai produk kimia.

Masalah kompleks dalam pengembangan teknologi dan produk yang ramah lingkungan, *Green Chemistry* membutuhkan pendekatan lintas disiplin (Mitchell et al., 2024).

Ini menunjukkan bahwa ilmuwan kimia, insinyur, ahli lingkungan, dan pakar dalam bidang lain semakin banyak bekerja sama. Industri kimia dan industri terkait semakin menyadari pentingnya kimia hijau untuk memenuhi permintaan konsumen yang semakin sadar lingkungan dan peraturan yang ketat. Ini ditunjukkan oleh investasi industri dalam penelitian dan pengembangan untuk menerapkan kebijakan kimia hijau dalam proses produksi mereka. Keberlanjutan, regulasi lingkungan, dan tingkat pertumbuhan ekonomi adalah faktor yang memengaruhi tren penelitian tentang kimia hijau (Zuin et al., 2021). Namun, ada juga tren global yang menangani masalah lingkungan umum, seperti pengelolaan limbah dan pengurangan emisi karbon.

Analisis pengaruh dan distribusi publikasi penting dalam bidang kimia hijau dapat memberikan gambaran tentang dinamika di bidang ini. Beberapa publikasi tertentu dalam bidang ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap arah penelitian dan menginspirasi inovasi baru (Ahmar & Azzajjad, 2023). Analisis bibliometrik akan dapat memberikan gambaran yang lebih baik tentang kemajuan terbaru dalam kimia hijau dan potensi inovasi di masa depan dengan memahami fenomena ini. *Green Chemistry* telah muncul sebagai pilar utama dalam industri kimia kontemporer di tengah peningkatan kesadaran akan keberlanjutan lingkungan. Konsep ini didasarkan pada prinsip-prinsip yang bertujuan untuk mengurangi dampak negatif yang disebabkan oleh industri kimia terhadap lingkungan. Pengembangan proses kimia yang lebih ramah lingkungan adalah fokus utama kimia hijau, mulai dari produksi bahan baku hingga produk akhir. Prinsip utama kimia hijau meliputi pengurangan limbah, penggunaan bahan baku yang lebih aman, dan meminimalkan atau menghilangkan penggunaan bahan kimia berbahaya. Tujuannya adalah untuk mengurangi emisi polutan seperti gas rumah kaca. Oleh karena itu, *Green Chemistry* memiliki potensi besar untuk secara signifikan mengurangi jejak karbon industri, membantu melindungi ekosistem yang rentan, dan meningkatkan kualitas lingkungan secara keseluruhan.

Dengan terus mengembangkan dan menerapkan prinsip-prinsip *Green Chemistry*, industri kimia dapat memainkan peran yang lebih positif dalam membangun masa depan yang lebih hijau dan berkelanjutan bagi planet kita. *Green Chemistry* tidak hanya menawarkan solusi untuk masalah lingkungan saat ini, tetapi juga membuka pintu untuk inovasi baru dalam pengembangan produk dan teknologi yang lebih berkelanjutan. Semakin banyak orang yang menyadari betapa pentingnya kimia hijau untuk memastikan keberlanjutan lingkungan. Akibatnya, jumlah penelitian dan publikasi yang membahas topik ini telah meningkat pesat. Berbagai aspek kimia hijau dibahas dalam penelitian ini, mulai dari pengembangan teknik produksi yang lebih ramah lingkungan hingga pencarian bahan baru yang dapat mengurangi dampak lingkungan industri kimia. Metode bibliometrik menjadi alat yang sangat berguna untuk mempelajari tren dalam penelitian kimia hijau. Kami dapat memahami perkembangan konsep dalam *Green Chemistry* dari waktu ke waktu dengan melihat parameter seperti jumlah publikasi, frekuensi kutipan, dan kolaborasi antarpeneliti. Selain itu, metode untuk menemukan topik penelitian yang dominan dalam bidang kimia hijau khusus dan dalam konteks keberlanjutan lingkungan yang lebih luas.

Lebih dari sekadar mencatat jumlah publikasi, analisis bibliometrik untuk melacak inovasi terbaru dalam *Green Chemistry*. Dengan melihat tren penggunaan kata kunci, topik

penelitian yang sedang naik daun, dan publikasi-publikasi yang paling berpengaruh, kita dapat mengidentifikasi perkembangan terbaru dan potensi arah penelitian masa depan dalam *Green Chemistry*. Dengan demikian, pendekatan bibliometrik memberikan pemahaman yang lebih baik tentang *Green Chemistry*. Analisis ini tidak hanya dapat membantu para peneliti menemukan jalan ke depan dalam penelitian mereka, tetapi juga dapat membantu pembuat kebijakan dan praktisi industri membuat rencana untuk mendorong kemajuan teknologi dan inovasi yang lebih berkelanjutan.

Selama beberapa tahun terakhir, kimia hijau telah mendapat perhatian yang lebih besar sebagai metode yang penting untuk menjaga keberlanjutan lingkungan. Namun, masih ada beberapa masalah yang harus diselesaikan sebelum prinsip-prinsipnya dapat diterapkan secara luas dalam industri kimia. Meskipun ada kemajuan dalam teknologi dan penelitian di bidang ini, masih ada banyak hambatan yang menghalangi konsep *Green Chemistry* untuk diterapkan secara luas. Dengan menggunakan pendekatan bibliometrik untuk melihat tren penelitian *Green Chemistry*, kita dapat menemukan topik penelitian yang kurang atau peluang inovasi. Misalnya, analisis dapat mengisi celah dalam pengetahuan kita tentang efek lingkungan dari beberapa bahan kimia atau proses produksi tertentu. Hal ini dapat berfungsi sebagai titik awal untuk penelitian lebih lanjut yang lebih mendalam yang bertujuan untuk menutup celah pengetahuan ini.

Analisis tren juga dapat membantu menemukan elemen kimia hijau yang belum sepenuhnya diteliti atau diperhatikan oleh peneliti. Ini bisa mencakup penggunaan teknologi baru, pembuatan bahan alternatif, atau metode proses baru yang meminimalkan dampak negatif yang ditimbulkan oleh proses terhadap lingkungan. Penelitian tambahan dapat dilakukan untuk menghasilkan solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan dengan mengidentifikasi bidang-bidang ini. Analisis tren juga dapat menunjukkan alasan mengapa *Green Chemistry* tidak digunakan dalam industri. Hal ini dapat mencakup masalah teknis, ketersediaan sumber daya, atau bahkan masalah yang ditimbulkan oleh undang-undang. Dengan memahami tantangan ini, kita dapat mencari cara untuk mengatasi mereka dan mendorong adopsi prinsip kimia hijau yang lebih luas. Secara keseluruhan, melakukan analisis tren dalam penelitian *Green Chemistry* dengan menggunakan pendekatan bibliometrik tidak hanya membantu Anda memahami kondisi saat ini di bidang ini, tetapi juga menawarkan perspektif tentang jalan yang dapat diambil untuk mengatasi masalah dan memanfaatkan peluang untuk membangun industri kimia yang lebih berkelanjutan.

Tujuan penelitian kami adalah untuk melakukan analisis bibliometrik terhadap literatur yang berkaitan dengan konsep *Green Chemistry*. Kami akan menggunakan metode ini untuk mengeksplorasi tren penelitian yang berkembang, mengidentifikasi topik-topik utama yang menjadi perhatian utama, dan mengenali kontribusi peneliti utama dalam bidang ini. Dengan menggunakan data bibliometrik, kami akan menyelidiki perkembangan publikasi ilmiah dalam *Green Chemistry* daripada publikasi sebelumnya. Analisis ini akan meningkatkan pemahaman kita tentang kemajuan terbaru dalam bidang kimia hijau dan membantu kita memahami bagaimana ide-ide ini digunakan dan dikembangkan di seluruh dunia. mengevaluasi topik-topik utama dalam literatur tentang kimia hijau. Ini mencakup pengenalan subbidang yang paling banyak diteliti, subjek penelitian yang paling populer, dan

tren inovasi terbaru. Dengan memahami topik-topik utama ini, kami dapat mengidentifikasi bidang penelitian yang perlu dilakukan lebih lanjut, serta peluang untuk mengembangkan konsep dan teknologi baru. Dengan memahami kontribusi peneliti utama dalam bidang *Green Chemistry*, kami dapat mengidentifikasi peneliti yang paling produktif, publikasi yang paling berpengaruh, dan jaringan kolaborasi yang paling dominan dalam komunitas penelitian ini. Dengan memahami kontribusi peneliti utama ini, kami dapat memahami topik-topik yang memerlukan penelitian ini akan meningkatkan pemahaman kami tentang kemajuan terbaru dalam kimia hijau dan memberikan wawasan berharga untuk arah penelitian masa depan dalam upaya untuk menghasilkan industri kimia yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Penelitian ini dapat memotivasi mahasiswa untuk berpikir kreatif dan menemukan solusi baru untuk masalah lingkungan dengan memperkenalkan mereka pada inovasi terbaru dalam ilmu kimia hijau. Ini dapat menumbuhkan minat mereka pada topik-topik lain dalam ilmu kimia dan membantu kemajuan di masa depan dalam bidang ini.

METODE PENELITIAN

Fokus penelitian kami adalah publikasi ilmiah yang terkait dengan *Green Chemistry* yang diterbitkan dalam jurnal akademik. Kami memilih untuk melakukan analisis bibliometrik publikasi tersebut dari tahun 2020 hingga 2024 untuk mendapatkan gambaran yang lebih aktual dan relevan tentang tren dalam literatur *Green Chemistry*. mengidentifikasi publikasi akademik yang relevan dengan *Green Chemistry* dengan menggunakan basis data akademik terkemuka seperti Google Scholar, Web of Science, atau Scopus. Kami akan memastikan untuk memilih sumber data yang memiliki cakupan global dan mencakup berbagai disiplin ilmu terkait. Kami akan mengumpulkan data tentang publikasi ilmiah yang terkait dengan *Green Chemistry* pada tahun 2020–2024. Informasi seperti judul, nama penulis, jurnal tempat publikasi, abstrak, kata kunci, dan jumlah kutipan dimasukkan ke dalamnya. mengidentifikasi tren dalam literatur *Green Chemistry* dengan menggunakan berbagai teknik analisis bibliometrik. Ini mencakup analisis pertumbuhan publikasi dari tahun ke tahun, distribusi geografis dan institusional, pola kutipan, dan pengenalan topik utama penelitian selama periode waktu yang diteliti.

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian deskriptif, yang bertujuan untuk menggambarkan fenomena atau peristiwa saat ini tanpa berusaha untuk mempengaruhi variabel yang diamati (Hamaker et al., 2020). Penelitian ini melakukan analisis bibliometrik untuk menggambarkan tren penelitian dalam literatur *Green Chemistry*. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah publikasi ilmiah yang berkaitan dengan *Green Chemistry* yang telah diterbitkan sebelumnya dan dapat diakses melalui basis data akademik seperti Web of Science, Scopus, atau Google Scholar.

Penelitian untuk "Tren Terkini dalam Kimia Hijau: Analisis Bibliometrik Materi dan Inovasi" melibatkan beberapa tahap pengumpulan data, termasuk teknik-teknik berikut: Tahap pertama melibatkan memilih basis data yang tepat untuk mengumpulkan data yang relevan. Karena mereka memberikan akses ke berbagai publikasi ilmiah dari berbagai disiplin ilmu, basis data akademik seperti Web of Science, Scopus, dan Google Scholar sering

digunakan. Metode utama pengumpulan data adalah dengan menggunakan kata kunci yang relevan untuk menemukan publikasi terkait *Green Chemistry*. Kata kunci seperti "green chemistry" akan digunakan untuk mencari publikasi yang relevan. Setelah memilih kata kunci, peneliti akan melakukan pencarian dalam basis data untuk menemukan daftar publikasi yang sesuai. Judul publikasi, nama penulis, jurnal tempat publikasi, abstrak, kata kunci, dan informasi bibliografis lainnya akan dimasukkan dalam data yang dikumpulkan. Tahap selanjutnya dari proses ini adalah menyaring data untuk memastikan bahwa hanya publikasi yang relevan dengan *Green Chemistry* yang dimasukkan dalam analisis. Untuk memastikan bahwa publikasi yang dipilih sesuai dengan lingkup penelitian melibatkan pemeriksaan manual. Proses terakhir, validasi data, melibatkan memastikan data yang dikumpulkan akurat dan relevan dengan tujuan penelitian. Ini dapat melibatkan pemeriksaan ulang data dan, jika memungkinkan, perbandingan dengan sumber data lain.

Dalam penelitian, metode berikut dapat digunakan untuk analisis data:

1. Prosesing Data:

Pengolahan data mencakup proses membersihkan dan merapikan data yang dikumpulkan agar dapat digunakan lebih lanjut. Langkah-langkah ini dapat mencakup standarisasi format data untuk memudahkan analisis, penghapusan data yang tidak relevan atau duplikat, dan pemformatan data.

2. Analisis Frekuensi Publikasi:

Langkah pertama dalam analisis data adalah melihat jumlah publikasi *Green Chemistry* yang dipublikasikan selama periode waktu yang diteliti (misalnya, tahun 2020 hingga 2024). Ini dapat dicapai dengan menunjukkan tren pertumbuhan literatur *Green Chemistry* dengan gambar pemetaan yang menunjukkan jumlah publikasi per tahun atau per bulan.

3. Analisis Distribusi dan Institusional:

Penelitian ini dapat melihat distribusi publikasi *Green Chemistry* secara institusional dan geografis, yang melibatkan identifikasi asal institusi penulis, negara atau wilayah, dan jurnal tempat publikasi diterbitkan. Analisis ini dapat memberikan wawasan tentang kontribusi berbagai negara atau institusi dalam penelitian *Green Chemistry*.

4. Analisis Pola Kutipan:

Untuk memahami dampak dan signifikansi publikasi *Green Chemistry*, analisis pola kutipan penting. Ini mencakup menentukan publikasi yang paling banyak dikutip, jaringan kutipan antar publikasi, dan tren kutipan dari waktu ke waktu.

5. Identifikasi Topik Utama Penelitian:

Mengidentifikasi topik-topik utama yang mendominasi penelitian dalam bidang tertentu adalah bagian penting dari analisis bibliometrik. Ini dapat dicapai melalui analisis isi atau analisis kata kunci.

6. Visualisasi Data:

Penggunaan visualisasi data seperti diagram atau peta panas dapat membantu menyajikan temuan analisis dengan cara yang mudah dipahami dan menarik. Visualisasi data membantu memperjelas pola dan tren yang kompleks yang ditemukan dalam literatur *Green Chemistry*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Hasil Penelitian

Green Chemistry telah muncul sebagai salah satu pendekatan utama dalam menjaga keseimbangan antara kemajuan industri dengan perlindungan lingkungan di era di mana kesadaran akan pentingnya keberlanjutan lingkungan semakin meningkat. Ide ini menekankan pengembangan proses kimia yang lebih ramah lingkungan, mulai dari produksi bahan baku hingga produk terakhir. Dengan demikian, *Green Chemistry* memiliki potensi besar untuk mengurangi dampak negatif industri kimia terhadap lingkungan. Berikut ini adalah deskripsi data dari penelitian berdasarkan informasi yang diberikan:

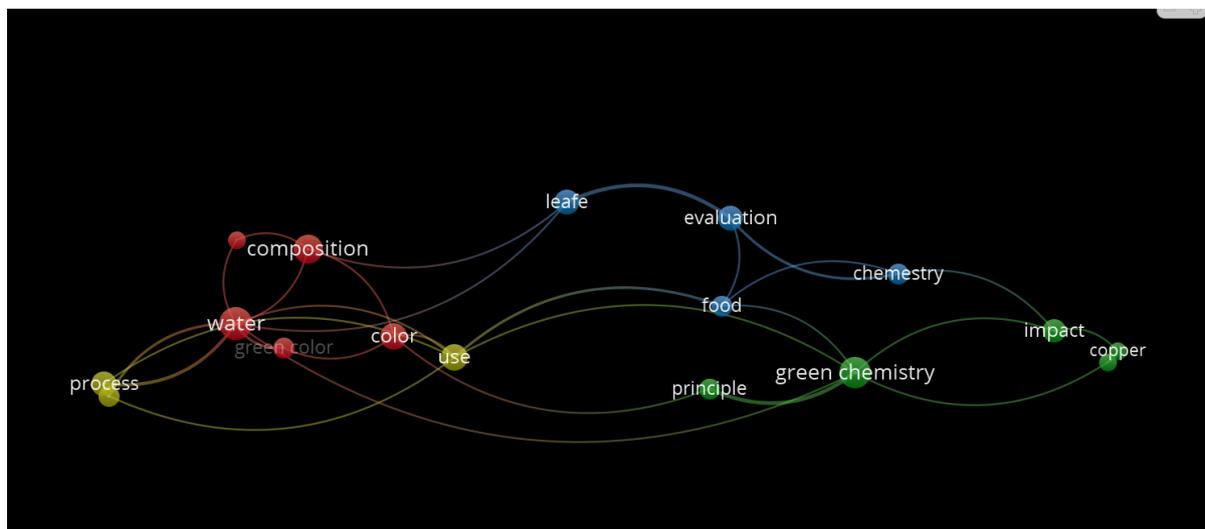
The screenshot displays the Publish or Perish software interface. The main window shows search results for 'green chemistry' from 2020 to 2024. The results table includes columns for Cites, Papers, Cites/ye..., h, g, hI,norm, hI,annual, hA, and acc10. The top result is 'Green chemistry: an introductory t...' by M Lancaster, published in 2020, with 924 citations and an h-index of 23. The software also shows citation metrics on the right, such as 4179 total citations and an h-index of 23. The search criteria are set to 'green chemistry' with a maximum of 200 results.

Search terms	Source	Papers	Cites	Cites/ye...	h	g	hI,norm	hI,annual	hA	acc10	Search
green chemistry from 2020 to 2...	Google Sch...	200	4179	1044.75	23	63	14	3.50	16	18	11/05/2...
Bulletin Learning Chemistry fro...	Google Sch...	49	365	91.25	11	19	7	1.75	8	7	27/04/2...
Reality Learning from 2020 to 2...	Scopus	0	0	0.00	0	0	0	0.00	0	0	27/04/2...

Gambar 1. Pencarian data Melalui Publish or Perish

Data terdiri dari lebih dari 200 artikel ilmiah yang telah diterbitkan. Literatur tentang kimia hijau disajikan dalam artikel ini. Selain menggunakan basis data indeksasi internasional seperti SCOPUS, Sinta, Copernicus, DOAJ, dan indeksasi nasional Sinta 1-6, artikel-artikel ini dapat diperoleh melalui pencarian di Google Scholar. Pilihan sumber pencarian yang beragam memastikan cakupan yang luas dari literatur yang relevan. Artikel-artikel ini memiliki total sitasi 4179. Ini menunjukkan seberapa banyak artikel-artikel ini telah dikutip dalam literatur akademik oleh peneliti lain. Artikel-artikel ini menerima rata-rata 1044,75 sitasi per tahun. Ini menunjukkan seberapa signifikan dan pentingnya tulisan ini dalam literatur *Green Chemistry*. H-indeks adalah metrik yang menggambarkan pengaruh dan kinerja seorang peneliti. Dalam hal ini, h-indeks dari masing-masing artikel adalah 23.

Untuk memvisualisasikan hasil penelitian "Tren Terkini dalam *Green Chemistry*: Analisis Bibliometrik Materi dan Inovasi" dalam bentuk jaringan (*network*), kami dapat menggunakan teknik visualisasi jaringan untuk menggambarkan hubungan antara berbagai entitas dalam literatur *Green Chemistry*. Berikut adalah deskripsi singkat tentang hasil visualisasi jaringan:



Gambar 2. *Network Visualization* Melalui VOSviewer

Empat kluster utama dalam literatur *Green Chemistry* telah diidentifikasi melalui analisis VOSviewer. Setiap kluster mengandung kumpulan kata kunci atau konsep yang saling berhubungan. Berikut adalah pemetaan kluster yang didasarkan pada visualisasi network:

1. Cluster 1: Komposisi, Air, Warna, Penggunaan, dan Bahan Baku ("*Composition, Water, Color, Use, and Leafe*"):

Kluster ini menunjukkan upaya untuk mempelajari dan mengembangkan bahan kimia yang memiliki dampak negatif atau positif pada lingkungan. Ini termasuk mengurangi toksisitas bahan kimia, menggunakan bahan baku yang terbarukan, dan memantau siklus hidup bahan kimia di lingkungan. Fokus pada pengendalian air selama proses produksi menunjukkan betapa pentingnya pengelolaan air yang efisien dan berkelanjutan dalam industri. Ini mencakup penggunaan teknologi yang lebih efisien, daur ulang air limbah, dan strategi penghematan air untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh penggunaan air. Sebagai bagian dari upaya industri pewarnaan untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkannya terhadap lingkungan, penggunaan pewarna yang lebih ramah lingkungan termasuk pewarna alami yang berasal dari sumber daya alam, pewarna sintesis yang lebih ramah lingkungan, atau teknologi pewarnaan yang mengurangi polusi dan limbah. Fokus pada keberlanjutan dalam penggunaan sumber daya alam seperti daun menunjukkan upaya untuk mengurangi ketergantungan pada bahan baku yang tidak terbarukan dan mengembangkan alternatif yang lebih berkelanjutan. Penggunaan sumber daya alam yang ramah lingkungan, seperti daun, dapat membantu mengurangi jejak karbon dan efek negatif terhadap lingkungan.

2. Cluster 2: *Green Chemistry*, Prinsip, dan Warna ("*Green Chemistry, Principle, and Color*"):

Kluster ini menekankan konsep dan prinsip dasar kimia hijau, serta penggunaan warna yang ramah lingkungan dalam proses kimia. Ini menunjukkan bahwa pembaca literatur kimia hijau lebih cenderung memahami dan menerapkan prinsip-prinsip utamanya dalam praktik kimia yang lebih ramah lingkungan. Pengurangan limbah, penggunaan bahan baku yang terbarukan, efisiensi energi, dan risiko bagi

kesehatan manusia adalah beberapa contoh dari prinsip-prinsip ini. Klaster ini juga menunjukkan betapa pentingnya menggunakan warna yang ramah lingkungan dalam proses kimia. Hal ini menunjukkan betapa berbahayanya pewarna kimia konvensional bagi lingkungan dan upaya untuk menggantinya dengan pewarna yang lebih aman dan berkelanjutan.

Pemetaan klaster ini menunjukkan bahwa pemahaman dan penerapan prinsip-prinsip *Green Chemistry* serta penekanan pada penggunaan bahan kimia yang ramah lingkungan seperti pewarna adalah fokus utama dalam upaya untuk menciptakan industri kimia yang lebih berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Akibatnya, klaster ini mencerminkan arah penelitian dan praktik terkini dalam *Green Chemistry* yang bertujuan untuk mengurangi dampak negatif industri kimia terhadap lingkungan.

3. Cluster 3: Evaluasi, Makanan, Kimia, dan Daun ("*Evaluation, Food, Chemistry, and Leaf*"):

Klaster ini menunjukkan hubungan antara pengujian produk kimia dalam hal kesehatan dan keamanan makanan dan penerapan kimia hijau dalam industri makanan. Ini menunjukkan bahwa literatur tentang kimia hijau sangat memperhatikan produksi makanan yang ramah lingkungan dan kesehatan manusia. Evaluasi produk kimia dalam konteks kesehatan dan keamanan makanan mencerminkan pentingnya memastikan bahwa bahan kimia yang digunakan dalam produksi makanan aman bagi pengguna dan tidak membahayakan kesehatan manusia. melibatkan penguji

Dalam industri makanan, penerapan prinsip kimia hijau menunjukkan upaya untuk memasukkan ide-ide ramah lingkungan dan keberlanjutan ke dalam seluruh rantai pasokan makanan. Dalam proses produksi makanan, ini dapat mencakup penggunaan bahan baku yang terbarukan, pengurangan limbah, penggunaan energi yang efisien, dan penggunaan bahan kimia yang lebih aman dan berkelanjutan. Oleh karena itu, klaster ini menunjukkan betapa pentingnya mempertimbangkan aspek keamanan pangan dan kesehatan manusia dalam praktik industri makanan. Sambil mengikuti prinsip-prinsip kimia hijau, mereka berusaha untuk membuat sistem makanan yang lebih berkelanjutan dan berwawasan lingkungan.

4. Cluster 4: Proses, Air, dan Penggunaan ("*Process, Water, and Use*"):

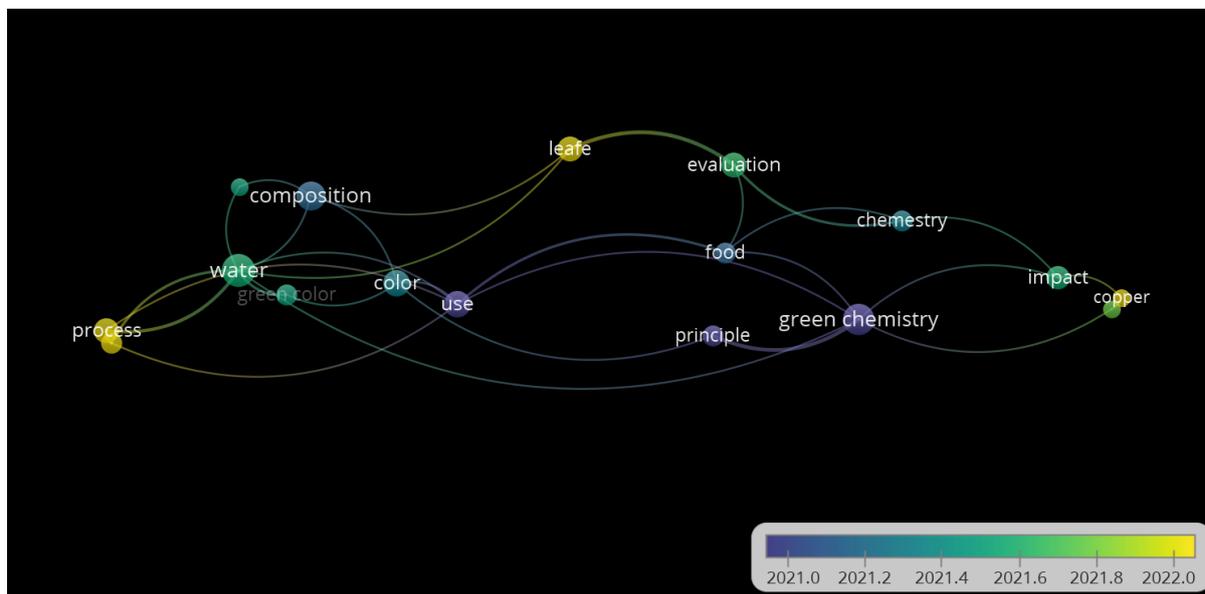
Klaster ini menunjukkan bahwa proses produksi yang ramah lingkungan, manajemen air yang efisien, dan penggunaan bahan kimia yang berkelanjutan dalam industri sangat penting. Ini menunjukkan bahwa dalam literatur *Green Chemistry*, ada fokus yang kuat pada upaya untuk mengurangi dampak lingkungan dari proses produksi industri, khususnya dalam hal penggunaan bahan kimia dan air. Untuk mengurangi polusi gas rumah kaca, limbah, dan polusi lainnya yang dihasilkan oleh proses manufaktur, proses produksi yang ramah lingkungan sangat penting. Penggunaan teknologi yang lebih efisien, pengoptimalan proses produksi untuk mengurangi limbah, dan penggunaan energi yang lebih bersih dan terbarukan adalah beberapa contohnya.

Manajemen air yang efektif menunjukkan betapa pentingnya mengelola sumber daya air yang terbatas dan melindungi kualitas air. Tindakan seperti daur ulang, penggunaan teknologi pemurnian air yang canggih, dan metode penghematan air dalam proses industri adalah beberapa contoh metode manajemen air yang efektif. Penggunaan bahan kimia yang berkelanjutan dalam industri menunjukkan bahwa bahan kimia yang lebih aman, ramah lingkungan, dan dapat didaur ulang harus digunakan dalam proses produksi. Ini menunjukkan bagaimana penggunaan bahan kimia konvensional berdampak pada lingkungan dan upaya untuk menggantinya dengan bahan kimia yang lebih berkelanjutan.

Dengan demikian, klaster ini menunjukkan perhatian pada praktik industri yang lebih berkelanjutan dan berwawasan lingkungan dalam literatur *Green Chemistry*. Proses produksi yang ramah lingkungan, manajemen air yang efisien, dan penggunaan bahan kimia yang berkelanjutan adalah contoh dari upaya untuk membangun industri yang lebih hijau dan berkelanjutan.

Dengan menggunakan visualisasi overlay, peneliti dapat melihat tren penelitian yang muncul dalam literatur akademik dengan cara yang lebih visual dan terstruktur. *Overlay visualization* memungkinkan peneliti untuk melihat bagaimana berbagai konsep atau topik terkait satu sama lain dalam literatur. Ini dilakukan dengan menganalisis pola keterkaitan antara kata kunci atau konsep dalam berbagai publikasi. Ini membantu memahami hubungan kompleks yang ada di antara berbagai elemen dalam bidang studi tertentu dan membantu menemukan pola yang tidak terlihat dalam analisis konvensional.

Analisis *overlay visualization* dapat membantu pengambilan keputusan tentang perubahan kebijakan, pengalokasian sumber daya, atau menemukan peluang riset baru (Darko et al., 2020). Informasi yang diperoleh dari analisis ini dapat memberikan wawasan yang berharga bagi para pemangku kepentingan dalam berbagai bidang. *Overlay visualization* dapat membantu dalam menemukan peluang kerja sama lintas disiplin atau antarlembaga dengan memahami bagaimana berbagai topik atau konsep terkait dalam literatur (Mitra et al., 2024). Ini dapat membantu orang bertukar informasi dan gagasan baru, yang dapat menghasilkan inovasi yang lebih besar dalam bidang penelitian tertentu. Oleh karena itu, visualisasi pemetaan overlay VOSviewer adalah alat penting untuk analisis bibliometrik dan dapat memberikan informasi bermanfaat bagi peneliti, praktisi, dan pengambil kebijakan dalam berbagai disiplin ilmu. Berikut pemetaan overlay visualization:



Gambar 3. *Overlay Visualization VOSviewer*

Hasil analisis bibliometrik *overlay visualization* menunjukkan tren terbaru dalam *Green Chemistry* yang berkaitan dengan konsep proses, *leafe*, dan *cooper*. Berikut adalah ringkasan singkat dari data yang dikumpulkan dari analisis tersebut:

1. Proses (*Process*):

Dalam bidang kimia hijau, tren terbaru menunjukkan betapa pentingnya membangun proses produksi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Ini menunjukkan kesadaran akan efek buruk proses kimia industri terhadap lingkungan, seperti polusi udara, air, dan tanah, serta dampak perubahan iklim. Fokus utama penelitian dan publikasi tentang kimia hijau adalah untuk mengurangi limbah, emisi, dan konsumsi energi yang dihasilkan oleh proses kimia industri. Para peneliti dan praktisi sedang mencari cara baru untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan efek buruk. Penggunaan teknologi yang lebih efisien dan bersih, penggunaan bahan baku yang dapat didaur ulang atau terbarukan, dan pengembangan proses produksi yang mengurangi limbah adalah semua contohnya.

Fokus literatur *Green Chemistry* adalah penelitian dan publikasi yang berkaitan dengan kemajuan teknologi yang memungkinkan proses yang lebih efisien dan bersih. Para peneliti mencari dan mengembangkan teknologi baru yang dapat meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi konsumsi energi, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Ini mencakup penggunaan katalis yang ramah lingkungan, pembuatan teknik yang menggunakan lebih sedikit bahan kimia berbahaya, dan penggunaan proses daur ulang yang lebih efisien. Oleh karena itu, tren terbaru dalam kimia hijau menekankan betapa pentingnya untuk terus mengembangkan proses produksi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Upaya ini diharapkan dapat membuat industri kimia menjadi lebih berkelanjutan dan membantu melindungi lingkungan dan kesejahteraan manusia.

2. Daun (*Leaf*):

Kehadiran ide "*leaf*" dalam industri kimia menunjukkan betapa pentingnya keberlanjutan bahan baku. Dengan menggunakan istilah "*leaf*", industri kimia menekankan penggunaan bahan baku yang ramah lingkungan, terbarukan, dan dapat didaur ulang, seperti tanaman, alga, atau limbah organik. Ide ini mencerminkan upaya untuk mengurangi ketergantungan industri kimia pada bahan baku fosil yang tidak dapat diperbarui dan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan menggunakan bahan baku yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui atau daur ulang, industri kimia Penggunaan bahan baku "*leaf*" juga dapat membantu mengurangi masalah ketersediaan dan harga bahan baku yang sering terjadi karena ketersediaan sumber daya alam yang terbatas.

Dalam industri kimia, penerapan konsep "*leaf*" membutuhkan pengembangan teknologi dan proses produksi baru yang memungkinkan pemanfaatan bahan baku dengan efisien dan berkelanjutan. Ini memerlukan investasi dalam riset dan pengembangan untuk menemukan sumber daya alam yang tepat untuk digunakan sebagai bahan baku "*leaf*" serta untuk mengembangkan metode ekstraksi dan pemrosesan yang ramah lingkungan. Oleh karena itu, munculnya konsep "*leaf*" menunjukkan perubahan besar dalam industri Ini merupakan langkah penting dalam mempertahankan keberlanjutan industri kimia dan mengurangi dampak buruk yang ditimbulkannya terhadap lingkungan.

3. Cooper (Cooperation):

Pengembangan solusi *Green Chemistry* yang efektif dan terimplementasi dengan baik membutuhkan kolaborasi dan kerja sama antara berbagai pemangku kepentingan, seperti industri, akademisi, pemerintah, dan masyarakat. Dalam konteks *Green Chemistry*, konsep "kolaborasi" menunjukkan betapa pentingnya kerja sama lintas disiplin ilmu dan sektor untuk mengatasi masalah lingkungan dan sosial yang kompleks yang dihadapi industri kimia saat ini. Ketika berbagai pemangku kepentingan bekerja sama, mereka dapat berbagi pengetahuan, sumber daya, dan pengalaman. Ini dapat mendorong upaya untuk mengembangkan solusi *Green Chemistry* yang lebih menyeluruh dan berkelanjutan. Meskipun berbeda, industri, pemerintah, masyarakat, dan akademisi berkolaborasi untuk mendorong teknologi dan praktik yang ramah lingkungan dalam industri kimia.

Bisnis dapat bekerja sama satu sama lain untuk berbagi praktik terbaik dan inovasi dalam penerapan *Green Chemistry* dalam bisnis mereka. Ini dapat menghasilkan standar industri yang lebih hijau dan upaya untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh proses produksi kimia. Kerjasama antara industri dan akademisi memungkinkan transfer teknologi dan penelitian terapan yang memungkinkan pembuatan bahan dan proses baru yang lebih ramah lingkungan. Ini dapat membantu mengurangi limbah, meningkatkan efisiensi proses, dan menghasilkan produk yang lebih berkelanjutan. Dengan bekerja sama

dengan pemerintah, kita dapat membuat kebijakan yang mendukung kemajuan dan investasi dalam teknologi hijau. Contoh kebijakan ini termasuk insentif fiskal, regulasi yang mendukung penggunaan bahan kimia yang lebih aman, dan program pendidikan dan pelatihan untuk meningkatkan kesadaran akan kimia hijau.

Partisipasi masyarakat dalam upaya *Green Chemistry* sangat penting karena mereka memiliki kemampuan untuk memengaruhi permintaan pelanggan untuk produk yang lebih ramah lingkungan dan mendukung kampanye dan inisiatif yang mendorong praktik bisnis yang lebih berkelanjutan. Secara keseluruhan, konsep "kolaborasi" dalam *Green Chemistry* menekankan betapa pentingnya kerja sama lintas disiplin ilmu dan sektor untuk menciptakan solusi yang komprehensif dan berkelanjutan untuk masalah lingkungan dan sosial yang dihadapi industri kimia. Dengan bekerja sama, berbagai pemangku kepentingan dapat mencapai lebih banyak kemajuan dalam mewujudkan visi *Green Chemistry* yang lebih hijau dan berkelanjutan.

Pembahasan

Analisis 200 artikel ilmiah tentang *Green Chemistry* yang diambil dari tahun 2020–2024 memberikan gambaran yang menarik tentang minat dan signifikansi penelitian di bidang ini. Jumlah publikasi ini mencerminkan minat yang kuat dari komunitas ilmiah terhadap *Green Chemistry* dan menunjukkan bahwa topik ini menjadi fokus perhatian yang signifikan selama periode tersebut. Jumlah publikasi ini penting bukan hanya karena jumlah publikasi ini menunjukkan minat yang kuat dari komunitas ilmiah terhadap bidang ini, tetapi juga Hal ini membantu orang bertukar pengetahuan dan memungkinkan lebih banyak perkembangan di bidang ini. Selain itu, analisis 200 artikel ilmiah terkait dengan *Green Chemistry* dari tahun 2020 hingga 2024 memberikan gambaran tentang tren dan perkembangan terkini dalam *Green Chemistry* selama periode waktu yang relevan. Ini memungkinkan para peneliti untuk memahami bagaimana topik ini telah berkembang dan berkembang seiring waktu, serta menangkap tren terbaru dalam penelitian dan praktik *Green Chemistry*. *Green Chemistry* terus menarik peneliti dari berbagai disiplin ilmu untuk menjelajahi dan berkontribusi pada solusi yang lebih berkelanjutan untuk masalah lingkungan dan industri karena minat yang kuat dan jumlah publikasi yang signifikan (Kong & Li, 2021).

Sitasi rata-rata per peneliti menunjukkan dengan jelas bahwa penelitian *Green Chemistry* sangat penting dan memengaruhi komunitas ilmiah. Salah satu metrik yang digunakan untuk menilai dampak penelitian adalah sitasi. Tingkat sitasi yang tinggi menunjukkan bahwa penelitian tersebut relevan dan bernilai bagi peneliti dan praktisi lain dalam bidang yang sama. Oleh karena itu, rata-rata sitasi yang tinggi menunjukkan bahwa penelitian *Green Chemistry* sering kali menjadi sumber referensi yang penting bagi peneliti lain dalam komunitas ilmiah. Konsep baru, teknik analisis, hasil eksperimen, dan aplikasi industri yang relevan dapat dikembangkan melalui artikel-artikel ini. Tingkat sitasi yang tinggi juga menunjukkan bahwa penelitian *Green Chemistry* memiliki dampak yang luas dan dapat mempengaruhi praktik dan arah penelitian dalam kimia dan bidang terkait lainnya. Penelitian mendorong penelitian lebih lanjut, kebijakan publik, atau pembuatan produk dan

proses yang lebih berkelanjutan (Azzajjad et al., 2023). Rata-rata sitasi yang tinggi juga dapat membuat peneliti dan institusi yang terlibat dalam penelitian *Green Chemistry* lebih dihormati. Ini dapat meningkatkan visibilitas dan pengakuan karya ilmiah dan mendorong peneliti untuk melakukan penelitian yang sangat baik dalam bidang yang penting ini. Oleh karena itu, rata-rata sitasi per peneliti yang tinggi adalah bukti yang kuat tentang betapa pentingnya penelitian *Green Chemistry* dalam komunitas ilmiah dan seberapa pentingnya itu untuk menanggapi masalah lingkungan dan industri yang kompleks.

Jumlah publikasi per peneliti rata-rata 85.80 adalah indikator yang menarik dari tingkat aktivitas dan kontribusi peneliti dalam bidang Kimia Hijau. Angka ini menunjukkan bahwa para peneliti yang terlibat dalam penelitian ini sangat aktif dalam mempublikasikan hasil karya mereka, secara signifikan membantu memperluas pengetahuan tentang Kimia Hijau. Angka ini menunjukkan minat yang besar dari para peneliti terhadap topik penelitian ini dan metodenya. Selain itu, rata-rata jumlah publikasi per peneliti yang tinggi menunjukkan bahwa para peneliti dalam *Green Chemistry* meneliti berbagai topik dan elemen, mulai dari sintesis bahan kimia hingga pengembangan proses produksi yang lebih hijau, serta pemahaman tentang bagaimana produk kimia berdampak pada lingkungan. Selain itu, tingkat publikasi yang tinggi menunjukkan betapa pentingnya komunitas ilmiah *Green Chemistry* berkomunikasi dan berbagi informasi. Publikasi adalah cara penting untuk menyebarkan hasil penelitian baru, mendorong diskusi dan kerja sama antar peneliti, dan meningkatkan pertukaran pengetahuan yang diperlukan untuk kemajuan di bidang ini. Oleh karena itu, jumlah publikasi per peneliti yang tinggi menunjukkan minat yang besar dan kontribusi yang berkelanjutan dari peneliti dalam memperluas pengetahuan tentang kimia hijau. Ini juga menunjukkan betapa pentingnya bekerja sama, berkomunikasi, dan berkomitmen pada penelitian yang berkelanjutan untuk mengatasi masalah lingkungan dan industri dalam masa depan.

Nilai rata-rata h-indeks sebesar 23 adalah indikator yang menarik dari dampak dan reputasi peneliti dalam komunitas ilmiah *Green Chemistry*. H-indeks adalah metrik yang digunakan untuk mengevaluasi produktivitas dan dampak seorang peneliti dalam publikasi ilmiah dengan mempertimbangkan jumlah sitasi yang diterima oleh karya mereka. Nilai yang sehat dari h-indeks ini menunjukkan bahwa peneliti dalam komunitas ilmiah *Green Chemistry* memiliki dampak yang signifikan dalam Angka 23 menunjukkan bahwa setiap peneliti rata-rata memiliki 23 artikel atau lebih yang telah dikutip 23 kali atau lebih. Ini menunjukkan bahwa karya mereka telah diakui oleh sesama peneliti dan praktisi dalam bidang kimia hijau dan telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap perkembangan pengetahuan dan pemahaman di bidang tersebut. Selain itu, rata-rata h-indeks sebesar 23 mencerminkan produktivitas peneliti dalam menghasilkan karya ilmiah yang berkualitas dan berdampak dalam *Green Chemistry*. Peneliti dengan h-indeks yang tinggi menunjukkan bahwa mereka telah berhasil dalam menghasilkan banyak karya ilmiah yang dianggap signifikan dan penting oleh komunitas ilmiah. Selain itu, h-indeks yang sehat dapat memberikan gambaran tentang reputasi dan pengaruh peneliti dalam bidang *Green Chemistry*. Peneliti dengan h-indeks yang tinggi cenderung dihormati dan dihargai oleh rekan peneliti mereka, dan mereka juga memiliki pengaruh yang signifikan dalam menentukan jalan dan kemajuan penelitian di

bidang ini. Oleh karena itu, rata-rata h-indeks sebesar 23 adalah bukti yang menarik dari pengaruh dan reputasi peneliti dalam komunitas ilmiah *Green Chemistry*. Ini menunjukkan bahwa peneliti dalam bidang ini telah berhasil dalam memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengetahuan dan pemahaman tentang *Green Chemistry* serta memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perkembangan umum bidang.

Dalam literatur ilmiah *Green Chemistry*, rata-rata g-indeks sebesar 63 adalah indikator yang menarik dari dampak dan produktivitas peneliti. Ini adalah metrik yang serupa dengan h-indeks, tetapi memperhitungkan distribusi sitasi dari setiap artikel, memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang dampak pekerjaan peneliti dalam komunitas ilmiah. Oleh karena itu, nilai g-indeks yang tinggi menunjukkan bahwa peneliti dalam bidang *Green Chemistry* memiliki Dengan mempertimbangkan sitasi dari setiap artikel, angka 63 menunjukkan bahwa karya peneliti rata-rata dikutip sebanyak 63 kali atau lebih. Hal ini menunjukkan bahwa mereka memiliki pengaruh yang signifikan dan diakui oleh komunitas ilmiah dalam bidang kimia hijau. Rata-rata g-indeks yang tinggi dan rata-rata sitasi per tahun yang signifikan sebesar 1044,75 juga merupakan indikator yang menarik dari tingkat perhatian yang berkelanjutan dari komunitas ilmiah terhadap artikel-artikel dalam *Green Chemistry*. Angka ini menunjukkan bahwa artikel-artikel tersebut terus menerima sitasi yang signifikan setiap tahunnya, menunjukkan relevansi dan ketertarikan yang berkelanjutan terhadap topik tersebut.

Tren penelitian terbaru tentang kimia hijau yang berkaitan dengan proses, *leafe*, dan *cooper* sebanyak delapan artikel pada tahun 2021 dan 2022 menunjukkan bahwa komunitas ilmiah sangat tertarik dengan topik ini. Analisis artikel-artikel tersebut memberikan gambaran tentang tren penelitian dan penelitian dalam bahan kimia hijau yang terkait dengan proses produksi yang lebih ramah lingkungan, penggunaan bahan baku yang berkelanjutan (*leafe*), dan kolaborasi antara industri dan akademisi (*cooper*). Proses-proses dalam bahan kimia hijau menekankan kemajuan dalam teknologi dan metode produksi yang lebih efisien, bersih, dan berkelanjutan. Ini termasuk pembuatan bahan kimia yang lebih baik, pembuatan reaksi yang lebih ramah lingkungan, dan pemrosesan yang mengurangi limbah dan emisi. Konsep "*leafe*" menunjukkan betapa pentingnya menggunakan bahan baku yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui atau didaur ulang. Dalam tren ini, artikel membahas pembuatan bahan baku baru yang ramah lingkungan, metode untuk mengelola limbah organik, atau penggunaan limbah pertanian untuk sintesis kimia. Salah satu fokus tren penelitian terbaru adalah kolaborasi antara industri (*cooper*) dan akademisi. Dalam artikel ini, melihat model kolaborasi kreatif antara universitas dan bisnis untuk mendukung kemajuan teknologi dan aplikasi *Green Chemistry* serta membantu transfer teknologi dan pengetahuan. Oleh karena itu, tren terbaru ini menunjukkan upaya terus-menerus untuk menghasilkan solusi kimia hijau yang lebih berkelanjutan. Fokusnya terletak pada proses produksi yang lebih ramah lingkungan, penggunaan bahan baku yang berkelanjutan, dan kerja sama lintas sektor untuk mendorong inovasi dan penerapan praktik hijau dalam industri kimia.

KESIMPULAN

Analisis dari tahun 2020–2024 terhadap 200 artikel ilmiah tentang kimia hijau menunjukkan bahwa kimia hijau memiliki peran penting dalam penelitian ilmiah. Rata-rata sitasi per peneliti yang tinggi menunjukkan bahwa penelitian tentang kimia hijau masih menarik bagi peneliti dari berbagai disiplin ilmu untuk mengeksplorasi dan berkontribusi pada solusi yang lebih berkelanjutan untuk masalah lingkungan dan industri. Ini adalah bukti yang kuat dari pentingnya dan pengaruh penelitian ini dalam komunitas ilmiah serta relevansinya dalam menanggapi penelitian tentang bahan kimia hijau. Ini menunjukkan bahwa temuan penelitian *Green Chemistry* banyak dikutip dan diakui oleh kolega, menunjukkan pengaruh besar dalam bidang tersebut. Selain itu, jumlah publikasi per peneliti yang tinggi menunjukkan minat yang besar dan kontribusi terus-menerus dari peneliti dalam memperluas pengetahuan tentang *Green Chemistry*. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya bekerja sama, berkomunikasi, dan berkomitmen pada penelitian yang berkelanjutan untuk mengatasi masalah dan industri lingkungan dalam masa depan. Rata-rata h-indeks sebesar 23 menunjukkan pengaruh dan reputasi peneliti dalam komunitas ilmiah *Green Chemistry*. Ini menunjukkan bahwa peneliti telah berhasil membuat kontribusi yang signifikan terhadap pengetahuan dan pemahaman tentang *Green Chemistry* serta memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perkembangan disiplin secara keseluruhan. Dalam komunitas ilmiah, elemen seperti proses, leafe, dan cooper sangat diminati dalam tren penelitian *Green Chemistry* terbaru pada tahun 2021 dan 2024. Analisis artikel-artikel tersebut memberikan pemahaman tentang tren penelitian dan kemajuan di bidang kimia hijau yang berkaitan dengan inovasi, keberlanjutan, dan kerja sama lintas sektor. Hal ini menunjukkan bahwa kimia hijau tetap relevan dan dinamis dalam menanggapi tantangan global yang semakin kompleks.

PENGAKUAN

Peneliti mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas dukungan dan memberi kesempatan untuk melakukan penelitian di Universitas Tadulako. Terima kasih atas dukungan yang luar biasa ini, kami memiliki kesempatan yang luas untuk meneliti, menumbuhkan rasa ingin tahu, dan berbagi pengetahuan dalam berbagai bidang ilmu. Dengan dukungan dan kepercayaan Anda, kami dapat mencoba ide-ide baru, menemukan hal-hal yang berguna, dan membantu membuat solusi yang lebih baik untuk tantangan-tantangan yang kompleks di era modern. Pemimpin yang cerdas seperti Bapak dan Ibu telah membuat lingkungan akademik yang inspiratif dan mendorong kami untuk mencapai potensi terbaik kami.

KONTRIBUSI PENELITI

Kolaborasi antara kedua penulis dalam proyek ini sangat penting untuk memastikan bahwa penulis 1 menyajikan temuan penelitian yang dikumpulkan dan dianalisis dengan cermat dengan cara yang jelas, terstruktur, dan informatif. Penulis 2 harus menyusun artikel ilmiah. Oleh karena itu, kedua penulis bekerja sama untuk memastikan bahwa penelitian ini jelas dan memiliki dampak yang signifikan pada komunitas ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmar, D. S., & Azzajjad, M. F. (2023). Literature Review: Bulletin Media in Learning as a Literacy Resource in Strengthening the National Literacy Movement Program. *Athena: Journal of Social, Culture and Society*, 2(1), 280–288. <https://doi.org/10.58905/athena.v2i1.207>
- Azzajjad, M. F., Ahmar, D. S., & Kilo, A. K. (2024). Pemahaman Mahasiswa tentang Keberlanjutan dalam Kimia: Kajian Pengembangan pada Proyek Green Chemistry. *Jambura Journal of Educational Chemistry*, 6(1), 11–20. <https://doi.org/10.37905/jjec.v6i1.22386>
- Azzajjad, M. F., Ahmar, D. S., Mustapa, K., & Ahmar, A. S. (2023). Literature Review: 21st Century Skills Learning Through Numeracy Literacy Integration In Promoting The National Literacy Movement. *Al-Fikrah: Jurnal Manajemen Pendidikan*, 11(1), 187. <https://doi.org/10.31958/jaf.v11i1.8725>
- Chen, L., Msigwa, G., Yang, M., Osman, A. I., Fawzy, S., Rooney, D. W., & Yap, P.-S. (2022). Strategies to achieve a carbon neutral society: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(4), 2277–2310. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01435-8>
- Darko, A., Chan, A. P. C., Adabre, M. A., Edwards, D. J., Hosseini, M. R., & Ameyaw, E. E. (2020). Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. *Automation in Construction*, 112, 103081. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081>
- Hamaker, E. L., Mulder, J. D., & van IJzendoorn, M. H. (2020). Description, prediction and causation: Methodological challenges of studying child and adolescent development. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 46, 100867. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2020.100867>
- Kong, X.-J., & Li, J.-R. (2021). An Overview of Metal–Organic Frameworks for Green Chemical Engineering. *Engineering*, 7(8), 1115–1139. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.07.001>
- Mishra, K., Siwal, S. S., Nayaka, S. C., Guan, Z., & Thakur, V. K. (2023). Waste-to-chemicals: Green solutions for bioeconomy markets. *Science of The Total Environment*, 887, 164006. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164006>
- Mitchell, S., Martín, A. J., Guillén-Gosálbez, G., & Pérez-Ramírez, J. (2024). The Future of Chemical Sciences is Sustainable. *Angewandte Chemie International Edition*, e202318676. <https://doi.org/10.1002/anie.202318676>
- Mitra, A., Youdon, C., Chauhan, P., & Shaw, R. (2024). Systemic risk capability assessment methodology: A new approach for evaluating inter-connected risks in seaport ecosystems. *Progress in Disaster Science*, 22, 100325. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100325>
- Sternberg, J., Sequerth, O., & Pilla, S. (2021). Green chemistry design in polymers derived from lignin: Review and perspective. *Progress in Polymer Science*, 113, 101344. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2020.101344>
- Zuin, V. G., Eilks, I., Elschami, M., & Kümmerer, K. (2021). Education in green chemistry and in sustainable chemistry: Perspectives towards sustainability. *Green Chemistry*, 23(4), 1594–1608. <https://doi.org/10.1039/D0GC03313H>