



# Analisis Bibliometrik dan Pemetaan Research Gap Emisi Gas Rumah Kaca pada Material Konstruksi Berkelanjutan Berbasis Data Scopus

Muhhammad Irfansyah Bako<sup>1)</sup>, Aidil Azhar Sihotang<sup>2)</sup>, Rafli Ilhamdi Nasution<sup>3)</sup>

Teknik Sipil

Universitas Al-Azhar Medan

## ARTICLE HISTORY

Received:

May 16, 2026

Revised

June 17, 2026

Accepted:

June 17, 2026

Online available:

June 24, 2026

## Keywords:

*Bibliometric analysis, Construction materials, Greenhouse gases, Sustainable construction, VOSviewer*

\*Correspondence:

Name: Muhammad Irfansyah Bako

E-mail:

[muhammadirfansyabhako22@gmail.com](mailto:muhammadirfansyabhako22@gmail.com)

Kantor Editorial

Politeknik Negeri Ambon

Pusat Penelitian dan Pengabdian

Masyarakat

Jalan Ir. M. Putuhena, Wailela-

Rumahtiga, Ambon Maluku, Indonesia

Kode Pos: 97234

## ABSTRACT

*The increasing emissions of greenhouse gases (GHGs) have become a critical issue in global climate change, with the construction sector a major contributor due to material use and energy consumption throughout the building life cycle. This study aims to analyse the development of scientific literature, map the intellectual structure, and identify research gaps related to GHG emissions in sustainable construction materials using a quantitative bibliometric research approach. Secondary data were collected from the Scopus database, consisting of 1,968 documents published during the period 2000–2026 (adjust to the actual year range in your data), and analyzed using VOSviewer and bibliometrix (R). The results indicate that greenhouse gases serve as the central theme, strongly connected to key topics such as the construction industry, environmental impact, energy, construction materials, and waste management. The network visualisation reveals several major clusters that reflect the field's multidisciplinary nature, including energy and buildings, environmental and waste management, sustainable construction materials, and environmental impact assessment. However, the interconnections among these clusters remain relatively weak, particularly in integrating construction materials with life-cycle-based emission analysis through Life Cycle Assessment (LCA). These findings highlight significant opportunities for future research to develop more comprehensive and integrated approaches in assessing GHG emissions within the construction sector. This study contributes theoretically to the advancement of bibliometric research and provides a foundation for developing low-carbon materials and policy strategies to support sustainable development.*

## 1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan tantangan global yang semakin mendesak akibat meningkatnya emisi gas rumah kaca (*greenhouse gases* / GHG), di mana sektor konstruksi berkontribusi signifikan terhadap total emisi global, mencapai lebih dari 30%, terutama dari konsumsi energi dan penggunaan material sepanjang siklus hidup bangunan (Lamrani Alaoui et al., 2023). Material konstruksi seperti semen, baja, dan

beton diketahui memiliki jejak karbon tinggi sejak tahap ekstraksi bahan baku hingga akhir masa pakainya sehingga menjadi fokus utama dalam upaya dekarbonisasi sektor ini. Seiring meningkatnya perhatian terhadap konstruksi berkelanjutan, berbagai penelitian telah mengkaji emisi GHG melalui pendekatan *life cycle assessment* (LCA), *green building*, dan pemanfaatan teknologi seperti *building information modeling* (BIM). Selain itu, analisis



bibliometrik dengan bantuan perangkat seperti VOSviewer dan bibliometrix (R) telah banyak digunakan untuk memetakan tren penelitian, kolaborasi ilmiah, dan perkembangan topik dalam bidang keberlanjutan konstruksi.

Namun demikian, beberapa studi sebelumnya masih cenderung terfragmentasi dan belum secara komprehensif mengkaji hubungan antara emisi gas rumah kaca (GHG) dan material konstruksi berkelanjutan sebagai satu kesatuan sistem. Misalnya, penelitian oleh Geng et al. (2026) lebih menitikberatkan pada peran teknologi digital dalam menurunkan emisi karbon di sektor konstruksi tanpa membahas integrasi material konstruksi secara mendalam. Sementara itu, Osuizugbo et al. (2025) berfokus pada hambatan teknologi dalam Pembangunan *zero-energy buildings*, sedangkan Shehu et al. (2025) mengkaji pemanfaatan teknologi digital pada sektor beton pracetak. Di sisi lain, Li et al. (2025) meneliti pengembangan material beton berkelanjutan melalui penggunaan *recycled aggregates*, *silica fume*, dan *nylon fibers*, tetapi belum menghubungkannya secara komprehensif dengan analisis emisi GHG berbasis sistem.

Selain itu, penelitian oleh Wang et al. (2025) dan Carvalho et al. (2025) telah menerapkan pendekatan *life cycle assessment* (LCA) untuk mengevaluasi dampak lingkungan material konstruksi, namun analisisnya masih terbatas pada aspek tertentu dan belum mengintegrasikan pemetaan bibliometrik secara menyeluruh. Keterbatasan lain juga terlihat pada penggunaan dataset yang relatif kecil serta pendekatan analisis yang belum mengombinasikan visualisasi jaringan menggunakan VOSviewer dengan analisis statistik lanjutan melalui bibliometrix dalam R. Akibatnya, pemetaan evolusi topik, struktur kolaborasi ilmiah, serta identifikasi emerging themes dan research gap berbasis kluster kata kunci masih belum optimal. Kondisi ini menunjukkan adanya celah penelitian yang signifikan, khususnya dalam penyediaan analisis bibliometrik skala besar yang mampu memberikan gambaran menyeluruh dan berbasis bukti mengenai lanskap penelitian global terkait emisi GHG pada material konstruksi berkelanjutan.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, studi ini menawarkan kebaruan melalui analisis bibliometrik komprehensif menggunakan dataset besar dari Scopus sebanyak 1.968 dokumen yang dipublikasikan selama periode 2000–2026 (sesuaikan dengan periode

sebenarnya hasil pencarian Scopus) dengan mengintegrasikan VOSviewer dan bibliometrix (R). Rentang waktu tersebut dipilih untuk memberikan gambaran yang komprehensif mengenai perkembangan penelitian emisi gas rumah kaca pada material konstruksi berkelanjutan dari fase awal hingga tren terkini. Dari total 1.968 dokumen yang dianalisis, sebagian besar berasal dari jurnal bereputasi tinggi yang terindeks pada kuartil Q1 dan Q2, menunjukkan tingginya perhatian akademik terhadap isu emisi gas rumah kaca dan material konstruksi berkelanjutan. Distribusi dokumen berdasarkan kuartil memberikan gambaran mengenai tingkat kualitas dan pengaruh penelitian dalam bidang ini. Penelitian sebelumnya umumnya hanya menggunakan satu pendekatan analisis sehingga hasil pemetaan penelitian masih terbatas. Misalnya, Carvalho et al. (2025) menggunakan pendekatan *life cycle assessment* (LCA) untuk mengevaluasi dampak lingkungan material konstruksi, namun belum mengkaji struktur perkembangan literatur secara bibliometrik. Selanjutnya, Geng et al. (2026) meneliti peran teknologi digital dalam pengurangan emisi karbon di sektor konstruksi melalui *systematic review*, tetapi belum memetakan hubungan antarpemulis, negara, maupun evolusi tema penelitian. Sementara itu, Li et al. (2025) berfokus pada pengembangan beton berkelanjutan berbahan daur ulang dan serat nylon dengan menekankan aspek kekuatan material dan keberlanjutan, namun belum menghubungkannya dengan jaringan penelitian global terkait emisi GHG.

Penelitian lain oleh Wang et al. (2025) mengkaji keuntungan lingkungan penggunaan material daur ulang pada desain perkerasan jalan menggunakan pendekatan probabilitas dan LCA, tetapi analisisnya masih terbatas pada studi kasus teknis. Di sisi lain, Osuizugbo et al. (2025) hanya membahas hambatan teknologi pada pembangunan *zero-energy buildings*, sedangkan Shehu et al. (2025) lebih menitikberatkan pada peluang teknologi digital di sektor beton pracetak. Berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa kajian sebelumnya masih bersifat parsial, baik dari sisi topik, metode, maupun cakupan data. Selain itu, sebagian besar studi belum mengombinasikan visualisasi jaringan menggunakan VOSviewer dengan analisis statistik lanjutan menggunakan bibliometrix (R), sehingga identifikasi *research gap*, *emerging themes*, dan struktur intelektual penelitian belum dilakukan secara optimal.



Oleh karena itu, penelitian ini mengintegrasikan kedua alat analisis tersebut untuk menghasilkan pemetaan visual dan analisis kuantitatif secara simultan. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi tren publikasi, aktor kunci (negara, institusi, dan penulis), struktur intelektual, serta evolusi konseptual penelitian berdasarkan analisis *co-occurrence*, *co-authorship*, dan *thematic evolution*. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan gambaran menyeluruh mengenai perkembangan riset emisi GHG pada material konstruksi berkelanjutan, tetapi juga mengungkap peluang penelitian masa depan secara lebih sistematis. Secara teoretis, penelitian ini memperkaya kajian bibliometrik dalam konteks konstruksi berkelanjutan, sedangkan secara praktis dapat menjadi dasar pengembangan strategi material konstruksi rendah karbon yang lebih efektif untuk mendukung transisi menuju pembangunan berkelanjutan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian sebelumnya umumnya hanya menggunakan satu pendekatan analisis sehingga hasil pemetaan penelitian masih terbatas. Misalnya, Carvalho et al. (2025) menggunakan pendekatan *life cycle assessment* (LCA) untuk mengevaluasi dampak lingkungan material konstruksi, namun belum mengkaji struktur perkembangan literatur secara bibliometrik. Selanjutnya, Geng et al. (2026) meneliti peran teknologi digital dalam pengurangan emisi karbon di sektor konstruksi melalui *systematic review*, tetapi belum memetakan hubungan antarpengarang, negara, maupun evolusi tema penelitian. Sementara itu, Li et al. (2025) berfokus pada pengembangan beton berkelanjutan berbahan daur ulang dan serat nylon dengan menekankan aspek kekuatan material dan keberlanjutan, namun belum menghubungkannya dengan jaringan penelitian global terkait emisi GHG.

Penelitian lain oleh Wang et al. (2025) mengkaji keuntungan lingkungan penggunaan material daur ulang pada desain perkerasan jalan menggunakan pendekatan probabilistik dan LCA, tetapi analisisnya masih terbatas pada studi kasus teknis. Di sisi lain, Osuizugbo et al. (2025) hanya membahas hambatan teknologi pada pembangunan *zero-energy buildings*, sedangkan Shehu et al. (2025) lebih menitikberatkan pada peluang teknologi digital di sektor beton pracetak. Berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa kajian sebelumnya masih bersifat parsial, baik dari sisi topik, metode, maupun cakupan data. Selain itu,

sebagian besar studi belum mengombinasikan visualisasi jaringan menggunakan VOSviewer dengan analisis statistik lanjutan menggunakan bibliometrix (R), sehingga identifikasi *research gap*, *emerging themes*, dan struktur intelektual penelitian belum dilakukan secara optimal.

## 3. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis bibliometrik untuk mengkaji literatur terkait emisi gas rumah kaca (GHG) pada material konstruksi berkelanjutan. Data diperoleh dari Scopus dengan strategi pencarian sistematis menggunakan kata kunci relevan pada *TITLE-ABS-KEY*, menghasilkan 1968 dokumen yang kemudian disaring berdasarkan kriteria inklusi seperti relevansi topik, jenis dokumen, bahasa Inggris, dan kelengkapan metadata (Gao et al., 2026). Data yang diperoleh melalui tahap pra-pemrosesan, termasuk pembersihan, normalisasi, dan penghapusan duplikasi, untuk memastikan konsistensi dan validitas dataset sebelum analisis dilakukan.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis bibliometrik untuk mengkaji perkembangan penelitian terkait emisi gas rumah kaca (*greenhouse gases*) pada material konstruksi berkelanjutan. Data diperoleh dari database Scopus melalui pencarian pada kolom *TITLE-ABS-KEY* menggunakan kata kunci "*greenhouse gases*", "*sustainable construction*", dan "*construction materials*". Hasil pencarian memperoleh 1968 dokumen yang kemudian diseleksi berdasarkan relevansi topik, jenis dokumen, bahasa, dan kelengkapan metadata. Selanjutnya dilakukan tahap *data cleaning* dan normalisasi metadata, seperti penyamaan nama penulis, institusi, dan kata kunci, serta penghapusan data duplikat agar hasil analisis lebih valid dan konsisten.

Alur penelitian dimulai dari pengumpulan data Scopus, seleksi dan pra-pemrosesan data, kemudian dilanjutkan dengan analisis bibliometrik menggunakan bibliometrix (R) dan VOSviewer. Hasil analisis selanjutnya diinterpretasikan untuk mengidentifikasi struktur pengetahuan, tren penelitian, dan *research gap*, sebelum akhirnya disusun kesimpulan dan rekomendasi penelitian masa depan. Diagram alur penelitian disajikan pada Gambar X.

Analisis menggunakan bibliometrix (R) dilakukan untuk memperoleh gambaran statistik dan



perkembangan penelitian. Parameter bibliometrix yang digunakan meliputi *annual scientific production*, *most relevant authors*, *most relevant sources*, *country scientific production*, *bibliographic coupling*, *co-word analysis*, *thematic mapping*, dan *thematic evolution*. Analisis tematik menggunakan parameter *centrality* dan *density* untuk mengidentifikasi tingkat kepentingan dan perkembangan suatu tema penelitian sehingga dapat diklasifikasikan menjadi *motor themes*, *basic themes*, *niche themes*, dan *emerging themes*.

Sementara itu, VOSviewer digunakan untuk memetakan struktur jaringan penelitian melalui analisis *co-occurrence* kata kunci, *co-authorship* penulis dan negara, serta *co-citation* referensi. Analisis *co-occurrence* menggunakan parameter *minimum occurrence* (*threshold*) sebesar 5 kemunculan kata kunci agar hanya kata kunci yang dominan dan relevan yang divisualisasikan. Selanjutnya, VOSviewer menghitung *link strength* berdasarkan frekuensi kemunculan bersama antar kata kunci menggunakan metode *association strength normalization*. Kata kunci yang memiliki hubungan kuat akan dikelompokkan secara otomatis ke dalam klaster yang sama dengan warna berbeda.

Proses *clustering* dilakukan dengan mengelompokkan kata kunci berdasarkan tingkat keterhubungan (*link strength*) antar item dalam jaringan. Klaster yang terbentuk kemudian diinterpretasikan untuk mengidentifikasi tema penelitian utama, hubungan antar topik, serta *research gap*. Keterhubungan jaringan yang lemah (*weak links*) menunjukkan bahwa beberapa tema penelitian masih terfragmentasi dan belum terintegrasi secara optimal, khususnya antara pengembangan material konstruksi berkelanjutan dan analisis emisi berbasis *Life Cycle Assessment* (LCA).

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pemrosesan Menggunakan VOSviewer dan bibliometrix (R)

Data penelitian yang diperoleh dari database Scopus sebanyak 1968 dokumen selanjutnya diproses menggunakan bibliometrix (R) dan VOSviewer untuk menghasilkan analisis statistik dan visualisasi jaringan penelitian. Tahap awal dilakukan melalui *data cleaning* dan normalisasi metadata, meliputi penyamaan nama penulis, institusi, dan kata kunci, serta penghapusan data duplikat agar hasil analisis lebih konsisten dan akurat.

Analisis menggunakan bibliometrix (R) menghasilkan informasi terkait tren publikasi tahunan (*annual scientific production*), penulis paling produktif (*most relevant authors*), sumber publikasi paling relevan (*most relevant sources*), produktivitas negara, serta *thematic mapping*. Hasil analisis menunjukkan bahwa jumlah publikasi terkait emisi gas rumah kaca pada sektor konstruksi mengalami peningkatan signifikan dalam beberapa tahun terakhir, terutama setelah meningkatnya perhatian global terhadap isu *net-zero emission* dan pembangunan berkelanjutan.

Selanjutnya, VOSviewer digunakan untuk memvisualisasikan jaringan penelitian melalui analisis *co-occurrence* kata kunci, *co-authorship*, dan *co-citation*. Pada analisis *co-occurrence*, digunakan parameter *minimum occurrence* sebesar 5 sehingga hanya kata kunci dominan yang divisualisasikan. Hasil pemrosesan menunjukkan bahwa kata kunci *greenhouse gases* menjadi pusat utama jaringan dengan tingkat keterhubungan (*link strength*) tertinggi dibandingkan kata kunci lainnya. Selain itu, visualisasi jaringan memperlihatkan beberapa klaster utama yang merepresentasikan tema penelitian seperti energi dan bangunan, pengelolaan limbah, material konstruksi berkelanjutan, serta evaluasi dampak lingkungan berbasis *Life Cycle Assessment* (LCA).

Kombinasi bibliometrix (R) dan VOSviewer memberikan hasil analisis yang lebih komprehensif karena tidak hanya menampilkan visualisasi hubungan antar topik penelitian, tetapi juga menunjukkan perkembangan tema, struktur intelektual, serta pola kolaborasi ilmiah secara kuantitatif dan sistematis.

### 4.2 Basis Data Dokumen yang Dianalisis

Basis data penelitian diperoleh dari database Scopus dan telah melalui tahap seleksi serta normalisasi metadata. Dokumen yang digunakan terdiri dari artikel ilmiah yang berkaitan dengan emisi gas rumah kaca, konstruksi berkelanjutan, dan material konstruksi rendah karbon. Contoh dokumen yang dianalisis ditunjukkan pada



Tabel 1.

| N o | Nama Penulis          | Judul Penelitian                                                                   | Kata Kunci                                  |
|-----|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1   | Carvalho et al.       | <i>Life Cycle Assessment (LCA) in Construction Materials – Review</i>              | LCA, construction materials, sustainability |
| 2   | Li et al.             | <i>Balancing Sustainability and Strength in Concrete</i>                           | recycled aggregate, concrete, emissions     |
| 3   | Wang et al.           | <i>Environmental Advantages of Pavement Designs Incorporating Recycled Content</i> | recycled content, environmental impact      |
| 4   | Geng et al.           | <i>Digital Technologies Reduce Carbon Emissions in Construction Industry</i>       | digital technology, carbon emissions        |
| 5   | Osuizugbo et al.      | <i>Zero-Energy Buildings in Nigeria</i>                                            | zero-energy building, sustainability        |
| 6   | Shehu et al.          | <i>Digital Tracking Technologies in Precast Concrete Sector</i>                    | precast concrete, digital technology        |
| 7   | Lamrani Alaoui et al. | <i>Optimizing Construction Materials for Energy Efficiency</i>                     | energy efficiency, buildings                |
| 8   | Chammout & El-Adaway  | <i>Green and Sustainable Construction Projects</i>                                 | sustainable construction, risk management   |

Tabel 1. Contoh Basis Data Dokumen Penelitian

Berdasarkan basis data tersebut, dapat diketahui bahwa penelitian terkait emisi gas rumah kaca pada sektor konstruksi memiliki cakupan multidisiplin yang melibatkan aspek energi, material

konstruksi, teknologi digital, hingga evaluasi dampak lingkungan.

#### 4.3 Hasil Clustering dan Identifikasi Research Gap

Hasil analisis *co-occurrence* menggunakan VOSviewer menghasilkan beberapa kluster utama yang menggambarkan struktur penelitian terkait emisi gas rumah kaca pada material konstruksi berkelanjutan. Proses clustering dilakukan secara otomatis menggunakan metode *association strength normalization*, di mana kata kunci yang memiliki hubungan kuat berdasarkan frekuensi kemunculan bersama akan dikelompokkan ke dalam kluster yang sama.

Kluster pertama berfokus pada tema energi dan bangunan berkelanjutan, yang mencakup kata kunci seperti *energy*, *buildings*, *renewable energy*, dan *energy policy*. Kluster ini menunjukkan bahwa penelitian banyak diarahkan pada efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon pada sektor bangunan.

Kluster kedua berkaitan dengan pengelolaan limbah dan dampak lingkungan, seperti *waste disposal*, *methane*, *biomass*, dan *municipal solid waste*. Hal ini menunjukkan bahwa limbah konstruksi dan limbah padat perkotaan menjadi salah satu sumber emisi gas rumah kaca yang banyak diteliti.

Kluster ketiga berfokus pada material konstruksi berkelanjutan dengan kata kunci seperti *concrete*, *fly ash*, *compressive strength*, dan *industrial by-products*. Kluster ini menunjukkan tingginya perhatian terhadap pengembangan material rendah karbon sebagai upaya mengurangi emisi pada sektor konstruksi.

Sementara itu, kluster lain menghubungkan tema *environmental impact*, *greenhouse gas emissions*, dan *life cycle assessment* (LCA), yang menunjukkan pentingnya evaluasi dampak lingkungan berbasis siklus hidup. Namun demikian, keterhubungan antara kluster material konstruksi dan kluster LCA masih relatif lemah (*weak links*). Kondisi ini menunjukkan adanya *research gap* dalam integrasi pengembangan material konstruksi rendah karbon dengan analisis emisi secara komprehensif berbasis siklus hidup bangunan.

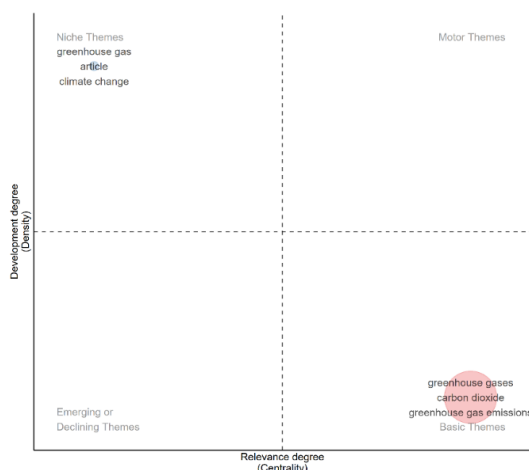
Selain itu, topik seperti *wood construction*, *bio-based materials*, dan *operational carbon* memiliki ukuran kluster yang relatif kecil sehingga dapat dikategorikan sebagai *emerging themes* yang masih berkembang. Hal ini menunjukkan peluang penelitian



masa depan dalam pengembangan material berbasis hayati dan strategi pengurangan karbon operasional pada bangunan berkelanjutan.

## 1. Peta Tematik (Thematic Map)

Untuk memahami struktur dan perkembangan tema penelitian terkait emisi gas rumah kaca, dilakukan analisis peta tematik (*thematic map*) (Geng et al., 2026). Analisis ini bertujuan mengidentifikasi posisi tema berdasarkan tingkat relevansi (*centrality*) dan tingkat perkembangan (*density*), sehingga dapat diketahui tema utama, tema khusus, tema yang sedang berkembang, maupun tema yang berpotensi menjadi penggerak penelitian.



**Gambar 1. Peta Tematik Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca**

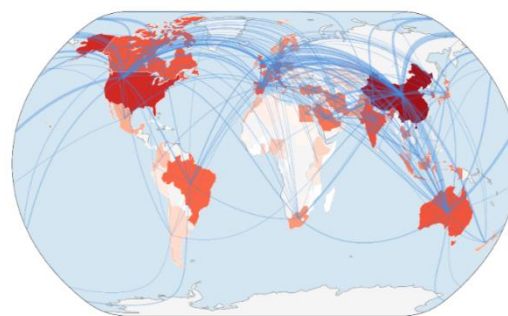
Berdasarkan Gambar 1, tema *greenhouse gases*, *carbon dioxide*, dan *greenhouse gas emissions* berada pada kuadran *basic themes* (Yang et al., 2026). Hal ini menunjukkan bahwa tema-tema tersebut merupakan tema dasar yang memiliki relevansi tinggi dalam bidang penelitian, namun tingkat pengembangannya masih relatif rendah. Kondisi ini mengindikasikan bahwa topik tersebut menjadi fondasi utama penelitian sekaligus masih memiliki peluang besar untuk dikembangkan lebih lanjut.

Sementara itu, tema *climate change* dan *greenhouse gas* berada pada kuadran *niche themes*, yang menunjukkan bahwa tema tersebut telah berkembang cukup baik, tetapi masih bersifat spesifik dan belum terhubung secara luas dengan keseluruhan bidang penelitian (Osuizugbo et al., 2025). Selain itu, tidak ditemukannya tema pada kuadran *motor themes*

menunjukkan bahwa belum ada tema yang dominan sekaligus matang untuk menjadi penggerak utama perkembangan penelitian ini.

## 2. Peta Kolaborasi Antarnegara (Country Collaboration Map)

Selain perkembangan tema penelitian, analisis juga dilakukan untuk melihat pola kolaborasi antarnegara dalam penelitian emisi gas rumah kaca (Hua et al., 2026). Peta kolaborasi ini memberikan gambaran mengenai negara-negara yang aktif berkontribusi dan tingkat jejaring kerja sama internasional yang terbentuk dalam bidang penelitian ini.



**Gambar 2. Peta Kolaborasi Antarnegara**

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa China memiliki tingkat kolaborasi paling dominan, diikuti oleh Amerika Serikat, India, Australia, Jerman, dan Inggris. Hal ini menunjukkan bahwa China berperan sebagai pusat utama kolaborasi penelitian global dalam topik emisi gas rumah kaca. Banyaknya koneksi antarnegara juga menunjukkan bahwa penelitian dalam bidang ini memiliki tingkat kerja sama internasional yang tinggi, yang mencerminkan bahwa isu emisi gas rumah kaca merupakan isu global yang memerlukan pendekatan kolaboratif lintas negara.

## 3. Penulis Paling Relevan (Most Relevant Authors)

Untuk mengetahui kontribusi individu dalam perkembangan penelitian, dilakukan analisis terhadap penulis paling produktif berdasarkan jumlah dokumen yang dipublikasikan.





Gambar tersebut menunjukkan visualisasi jaringan *co-occurrence* kata kunci yang dihasilkan menggunakan perangkat lunak VOSviewer. Peta ini menggambarkan hubungan antar topik penelitian berdasarkan kemunculan bersama (*co-occurrence*) dalam dokumen ilmiah yang dianalisis. Setiap *node* (lingkaran) merepresentasikan kata kunci, di mana ukuran *node* menunjukkan frekuensi kemunculan kata tersebut, sedangkan garis (*link*) menunjukkan kekuatan hubungan antar kata kunci. Warna yang berbeda menunjukkan kluster atau kelompok tema penelitian yang saling berkaitan.

Secara umum, kata kunci *greenhouse gases* menjadi pusat utama (*core topic*) dengan ukuran *node* terbesar. Hasil ini menunjukkan bahwa emisi gas rumah kaca merupakan isu utama dalam penelitian konstruksi berkelanjutan karena meningkatnya perhatian global terhadap perubahan iklim, target *net-zero emission*, dan kebijakan dekarbonisasi sektor konstruksi. Tingginya keterhubungan dengan kata kunci seperti *construction industry*, *environmental impact*, dan *life cycle* menunjukkan bahwa penelitian saat ini tidak hanya berfokus pada aspek teknis material, tetapi juga pada dampak lingkungan secara menyeluruh. Kondisi ini terjadi karena sektor konstruksi diketahui menjadi salah satu penyumbang emisi karbon terbesar melalui penggunaan semen, beton, baja, konsumsi energi bangunan, serta limbah konstruksi selama siklus hidup bangunan.

Kluster merah yang berisi tema *energy*, *buildings*, *renewable energy*, dan *energy policy* menunjukkan bahwa penelitian banyak diarahkan pada efisiensi energi bangunan dan transisi energi rendah karbon. Dominasi kluster ini dapat dipengaruhi oleh meningkatnya regulasi bangunan hijau (*green building*) dan kebutuhan pengurangan konsumsi energi operasional bangunan. Hasil ini sejalan dengan penelitian **Geng et al. (2026)** yang menyatakan bahwa digitalisasi dan teknologi bangunan cerdas menjadi strategi utama dalam pengurangan emisi karbon di sektor konstruksi. Implikasinya, penelitian masa depan perlu mengintegrasikan teknologi energi terbarukan dengan material konstruksi rendah karbon agar strategi mitigasi emisi menjadi lebih efektif dan menyeluruh.

Kluster hijau yang berfokus pada *waste disposal*, *methane*, *biomass*, dan *municipal solid waste* menunjukkan bahwa pengelolaan limbah menjadi isu penting dalam penelitian emisi GHG. Hasil ini muncul karena limbah konstruksi dan limbah padat perkotaan

diketahui menghasilkan emisi metana serta polutan lingkungan yang signifikan. Temuan ini mendukung penelitian **Wang et al. (2025)** yang menekankan pentingnya pemanfaatan material daur ulang untuk mengurangi dampak lingkungan sektor konstruksi. Implikasinya, pengembangan ekonomi sirkular (*circular economy*) dan pemanfaatan limbah sebagai bahan konstruksi alternatif berpotensi menjadi fokus penelitian yang semakin berkembang di masa depan.

Sementara itu, kluster biru yang mencakup *concrete*, *fly ash*, *compressive strength*, dan *industrial by-products* menunjukkan tingginya perhatian terhadap pengembangan material konstruksi berkelanjutan. Hasil ini diperoleh karena beton dan semen merupakan penyumbang emisi karbon terbesar dalam industri konstruksi, sehingga banyak penelitian berupaya mencari material substitusi rendah karbon. Temuan ini sejalan dengan penelitian **Li et al. (2025)** yang mengembangkan beton berkelanjutan menggunakan *recycled aggregates* dan *silica fume* untuk meningkatkan performa sekaligus menurunkan dampak lingkungan. Namun demikian, keterhubungan kluster ini dengan kluster *life cycle assessment* masih relatif lemah, yang menunjukkan bahwa penelitian material konstruksi masih banyak berfokus pada aspek teknis dibandingkan evaluasi emisi secara menyeluruh. Implikasinya, diperlukan penelitian yang mengintegrasikan performa material dengan analisis emisi berbasis siklus hidup (*Life Cycle Assessment/LCA*).

Kluster kuning yang menghubungkan tema *environmental impact*, *greenhouse gas emissions*, dan *life cycle* menunjukkan bahwa pendekatan evaluasi lingkungan berbasis LCA mulai menjadi penghubung antarbidang penelitian. Hal ini terjadi karena LCA dianggap mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai emisi karbon sejak tahap produksi material hingga akhir masa pakai bangunan. Hasil ini mendukung penelitian **Carvalho et al. (2025)** yang menegaskan bahwa pendekatan LCA semakin penting dalam pengembangan material konstruksi berkelanjutan. Implikasinya, penggunaan metode LCA diperkirakan akan semakin dominan dalam penelitian masa depan karena mampu mendukung kebijakan pembangunan rendah karbon secara lebih terukur.

Di sisi lain, kluster ungu relatif kecil dan berkaitan dengan *wood construction* serta *operational carbon*. Ukuran kluster yang kecil menunjukkan bahwa topik ini masih tergolong *emerging* atau *niche theme*.



Hal ini kemungkinan disebabkan oleh masih terbatasnya implementasi material berbasis kayu pada konstruksi modern di beberapa negara berkembang serta keterbatasan regulasi dan teknologi pendukung. Namun demikian, meningkatnya perhatian terhadap material berbasis bio (*bio-based materials*) menunjukkan bahwa topik ini memiliki potensi berkembang di masa depan sebagai alternatif material rendah karbon.

Secara keseluruhan, hasil visualisasi menunjukkan bahwa penelitian emisi gas rumah kaca pada sektor konstruksi bersifat multidisiplin dan terus berkembang menuju pendekatan yang lebih terintegrasi. Namun, masih terdapat keterhubungan yang lemah antar beberapa klaster, khususnya antara pengembangan material konstruksi dan analisis emisi berbasis siklus hidup. Kondisi ini mengindikasikan adanya *research gap* yang membuka peluang penelitian untuk mengembangkan model integratif antara inovasi material, efisiensi energi, pengelolaan limbah, dan evaluasi lingkungan secara komprehensif dalam mendukung transisi menuju konstruksi berkelanjutan rendah karbon.

## 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil visualisasi jaringan co-occurrence kata kunci menggunakan VOSviewer, dapat disimpulkan bahwa penelitian mengenai emisi gas rumah kaca (*greenhouse gases*) memiliki struktur keilmuan yang kompleks dan multidisiplin. Topik ini menjadi pusat utama yang menghubungkan berbagai bidang, terutama industri konstruksi, dampak lingkungan, energi, material bangunan, serta pengelolaan limbah.

Teridentifikasi beberapa klaster utama yang menunjukkan fokus penelitian, yaitu: (1) energi dan bangunan, (2) lingkungan dan limbah, (3) material konstruksi berkelanjutan, serta (4) analisis dampak lingkungan. Hal ini menegaskan bahwa upaya mitigasi emisi tidak hanya bergantung pada satu aspek, tetapi memerlukan pendekatan terintegrasi dari hulu ke hilir, termasuk desain material, efisiensi energi, dan pengelolaan limbah.

Namun demikian, keterhubungan antar beberapa klaster masih relatif lemah, khususnya antara aspek material konstruksi dan analisis emisi secara komprehensif (misalnya LCA). Kondisi ini

menunjukkan adanya *research gap*, yang membuka peluang bagi penelitian selanjutnya untuk mengembangkan pendekatan yang lebih holistik dalam mengkaji emisi gas rumah kaca pada sektor konstruksi berkelanjutan.

Secara keseluruhan, peta ini menunjukkan bahwa penelitian di bidang ini terus berkembang, tetapi masih memerlukan integrasi yang lebih kuat antar subbidang agar dapat menghasilkan solusi yang lebih efektif dalam mendukung target dekarbonisasi dan pembangunan berkelanjutan.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penelitian selanjutnya disarankan untuk lebih mengintegrasikan kajian pengembangan material konstruksi berkelanjutan dengan pendekatan Life Cycle Assessment (LCA) agar analisis emisi karbon dapat dilakukan secara lebih menyeluruh, mulai dari tahap produksi material, penggunaan bangunan, hingga akhir masa pakainya. Selain itu, pengembangan material alternatif rendah karbon seperti *bio-based materials*, material daur ulang, dan beton hijau perlu ditingkatkan karena memiliki potensi besar dalam mengurangi emisi karbon pada sektor konstruksi.

Pemanfaatan teknologi digital seperti Building Information Modeling (BIM), Internet of Things (IoT), dan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) juga perlu dikembangkan untuk mendukung efisiensi energi dan optimalisasi pengelolaan emisi karbon dalam proyek konstruksi berkelanjutan. Di samping itu, kolaborasi penelitian lintas negara dan lintas disiplin ilmu perlu terus ditingkatkan mengingat isu perubahan iklim dan emisi gas rumah kaca merupakan tantangan global yang membutuhkan solusi bersama.

Penelitian selanjutnya juga disarankan untuk memperluas sumber data bibliometrik tidak hanya dari Scopus, tetapi juga dari database lain seperti Web of Science dan Dimensions agar hasil analisis menjadi lebih komprehensif. Selain itu, tema-tema yang masih tergolong *emerging themes* seperti *wood construction*, *operational carbon*, dan *bio-based materials* perlu mendapat perhatian lebih lanjut karena memiliki peluang besar untuk berkembang sebagai solusi inovatif dalam mendukung transisi menuju konstruksi rendah karbon dan pembangunan berkelanjutan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Gao, L., Sun, W., Bao, W.-L.-T.-Y., & Cao, B. (2026). The complex network transfer pathways and evolutionary patterns of embodied carbon emissions in China's agricultural industry Chain: An empirical analysis based on multi-node flow characteristics. *Resources, Environment and Sustainability*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2026.100291>
- Geng, L., Li, S., Farsangi, E. N., Xu, X., & Tam, V. W. Y. (2026). How do digital technologies reduce carbon emissions in the construction industry? a systematic review. *Energy and Buildings*, 350. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116605>
- Hua, J. B. X., Marek, R. F., Jones, M. P., Erb, T. D., Owen, S. C., & Hornbuckle, K. C. (2026). Widespread Emissions of Polychlorinated Biphenyls from Building Materials in Vermont Schools. *Environmental Science and Technology*, 60(6), 4966–4977. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5c10939>
- Osuzugbo, I. C., Orekan, A. A., Omer, M. M., & Simon, R. F. (2025). An exploratory factor analysis on technological-related barriers to the construction of zero-energy buildings in Nigeria. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 43(7), 1897–1918. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-05-2024-0091>
- Yang, Z., Li, R., Zheng, W., Fu, Y., Liu, J., Tang, X., Chen, J., Jiao, W., Li, X., & Hu, A. (2026). In-situ construction of multi-level structures on recycled graphite anode material to enhance its lithium ion transport performance. *Journal of Colloid and Interface Science*, 706. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2025.139765>