

## **TREN GLOBAL EMISI DINITROGEN OKSIDA DARI PEMUPUKAN NPK: TINJAUAN SISTEMATIS DAN ANALISIS BIBLIOMETRIK**

**Anggi Diyah Ayu Oka<sup>1\*</sup>, Anis Tatik Maryani<sup>2</sup>, Zainul Bahri<sup>3</sup>,  
& Samsul Ma'arif<sup>4</sup>**

<sup>1,2,&3</sup>Program Studi Ilmu Lingkungan, Pascasarjana, Universitas Jambi,  
Jalan Arif Rahman Hakim, Jambi, Jambi 36361, Indonesia

<sup>4</sup>Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Satya Terra Bhinneka,  
Jalan Sunggal Gg. Bakul, Medan, Sumatera Utara 20128, Indonesia

\*Email: [anggidiyah48@gmail.com](mailto:anggidiyah48@gmail.com)

Submit: 29-04-2026; Revised: 13-05-2026; Accepted: 15-05-2026; Published: 04-07-2026

**ABSTRAK:** Kajian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan, distribusi, dan struktur keilmuan penelitian terkait penggunaan pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O) dalam satu dekade terakhir. Peningkatan penggunaan pupuk nitrogen dalam sistem pertanian modern telah berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca, khususnya dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O) yang memiliki potensi pemanasan global tinggi. Kajian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) yang dipadukan dengan analisis bibliometrik berbasis data *Scopus* dengan periode waktu 2015-2025. Proses seleksi literatur dilakukan menggunakan pedoman PRISMA, sehingga diperoleh 114 artikel yang dianalisis lebih lanjut menggunakan perangkat lunak *VOSviewer*. Hasil kajian menunjukkan bahwa Publikasi meningkat signifikan setelah 2020 dengan dominasi penelitian oleh China dan institusi berbasis Asia. Analisis kata kunci menunjukkan bahwa penelitian masih didominasi oleh pendekatan geokimia tanah, sementara integrasi dengan aspek efisiensi penggunaan nitrogen, produktivitas tanaman dan mitigasi perubahan iklim masih terbatas. Selain itu, jaringan kolaborasi menunjukkan adanya fragmentasi antarkelompok peneliti. Secara keseluruhan, kajian ini mengungkap adanya kesenjangan konseptual dan geografis dalam penelitian, serta menegaskan pentingnya pengembangan pendekatan integratif dalam pengelolaan pemupukan dan mendukung pertanian berkelanjutan dan mitigasi gas rumah kaca.

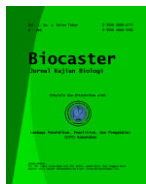
**Kata Kunci:** Analisis Bibliometrik, Emisi Dinitrogen Oksida (N<sub>2</sub>O), Pertanian Berkelanjutan, Pupuk NPK, Tinjauan Sistematis.

**ABSTRACT:** This study aims to analyze the development, distribution, and scientific structure of research related to the use of NPK fertilizers and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions in the last decade. The increased use of nitrogen fertilizers in modern agricultural systems has contributed to greenhouse gas emissions, especially nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), which has a high global warming potential. This study uses a *Systematic Literature Review* (SLR) approach combined with a bibliometric analysis based on *Scopus* data for the 2015-2025 period. The literature selection process was carried out using PRISMA guidelines, resulting in 114 articles that were further analyzed using *VOSviewer* software. The results of the study show that publications increased significantly after 2020, with research dominated by Chinese and Asian-based institutions. Keyword analysis shows that research is still dominated by soil geochemical approaches, while integration with aspects of nitrogen use efficiency, crop productivity, and climate change mitigation is still limited. In addition, the collaboration network shows fragmentation between research groups. Overall, this study reveals conceptual and geographic gaps in research and emphasizes the importance of developing an integrative approach to fertilizer management and supporting sustainable agriculture and greenhouse gas mitigation.

**Keywords:** Bibliometric Analysis, Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O) Emissions, Sustainable Agriculture, NPK Fertilizer, Systematic Review.

**How to Cite:** Oka, A. D. A., Maryani, A. T., Bahri, Z., & Ma'arif, S. (2026). Tren Global Emisi Dinitrogen Oksida dari Pemupukan NPK: Tinjauan Sistematis dan Analisis Bibliometrik. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 6(3), 1266-1286. <https://doi.org/10.36312/biocaster.v6i3.1335>

Uniform Resource Locator: <https://e-journal.lp3kamandanu.com/index.php/biocaster>

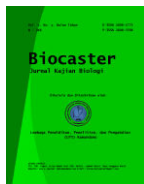


## PENDAHULUAN

Perubahan iklim global telah menempatkan sektor pertanian sebagai salah satu fokus utama dalam upaya mitigasi emisi gas rumah kaca. Di antara berbagai gas yang berkontribusi, dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) menjadi perhatian khusus, karena memiliki potensi pemanasan global yang jauh lebih tinggi dibandingkan karbon dioksida ( $CO_2$ ), serta berperan dalam penipisan lapisan ozon stratosfer (World Meteorological Organization, 2024). Secara global, sektor pertanian menjadi salah satu kontributor utama terhadap emisi  $N_2O$ , terutama melalui aktivitas pemupukan nitrogen pada tanah pertanian. Hal ini menjadikan pengelolaan nutrisi sebagai isu kunci dalam diskursus pertanian berkelanjutan dan mitigasi perubahan iklim. Penggunaan pupuk nitrogen dalam sistem pertanian diketahui berkontribusi terhadap peningkatan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) melalui dinamika nitrogen di dalam tanah yang dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan dan pengelolaan pemupukan (Andana *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2023; Petersen *et al.*, 2023). Kondisi ini menjadikan pengelolaan pemupukan dan efisiensi penggunaan nitrogen sebagai isu penting dalam pengembangan pertanian berkelanjutan dan mitigasi perubahan iklim.

Perkembangan kajian dalam satu dekade terakhir menunjukkan bahwa hubungan antara pemupukan NPK dan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) semakin beragam, baik dari sisi pendekatan maupun skala penelitian. Studi-studi awal umumnya berfokus pada pengukuran emisi pada tingkat plot atau lahan percobaan dengan penekanan pada faktor teknis seperti dosis pupuk, jenis pupuk, dan kondisi tanah (Dhadli *et al.*, 2016; Haque *et al.*, 2015; Louro *et al.*, 2015). Selanjutnya, penelitian berkembang ke arah pemahaman mekanisme biogeokimia tanah yang lebih kompleks, seperti interaksi antara nitrogen, fosfor, serta aktivitas mikroba dalam mengendalikan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) (Cui *et al.*, 2016; Ding *et al.*, 2019; Yin *et al.*, 2020). Pada tahap yang lebih mutakhir, penelitian mulai mengaitkan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) dengan isu yang lebih luas, seperti efisiensi penggunaan nitrogen, produktivitas tanaman, serta keberlanjutan sistem pertanian (Jiang *et al.*, 2025; Kong *et al.*, 2021; Lv *et al.*, 2020). Perkembangan tersebut menunjukkan bahwa kajian mengenai hubungan pemupukan NPK dan emisi Dinitrogen Oksida ( $N_2O$ ) telah bergeser dari pendekatan deskriptif menuju pendekatan yang lebih integratif dan berorientasi pada pertanian berkelanjutan.

Konteks tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan akan kajian yang mampu mensintesis perkembangan penelitian secara sistematis menjadi semakin penting. Pendekatan SLR memungkinkan evaluasi temuan ilmiah secara terstruktur, sedangkan analisis bibliometrik dapat digunakan untuk memetakan perkembangan tema penelitian, pola sitasi, dan jejaring kolaborasi ilmiah. Meskipun penelitian mengenai emisi  $N_2O$  dari sektor pertanian telah banyak dilakukan, sebagian besar studi sebelumnya masih berfokus pada eksperimen empiris atau kajian parsial mengenai pupuk nitrogen secara umum. Hingga saat ini, masih terbatas kajian



yang secara khusus mengintegrasikan pendekatan SLR dan bibliometrik untuk memetakan perkembangan penelitian global terkait pemupukan NPK dan emisi N<sub>2</sub>O. Selain itu, pemetaan mengenai struktur kolaborasi peneliti, distribusi geografis penelitian, serta keterhubungan tema-tema penelitian utama dalam bidang ini juga masih belum banyak dikaji secara komprehensif.

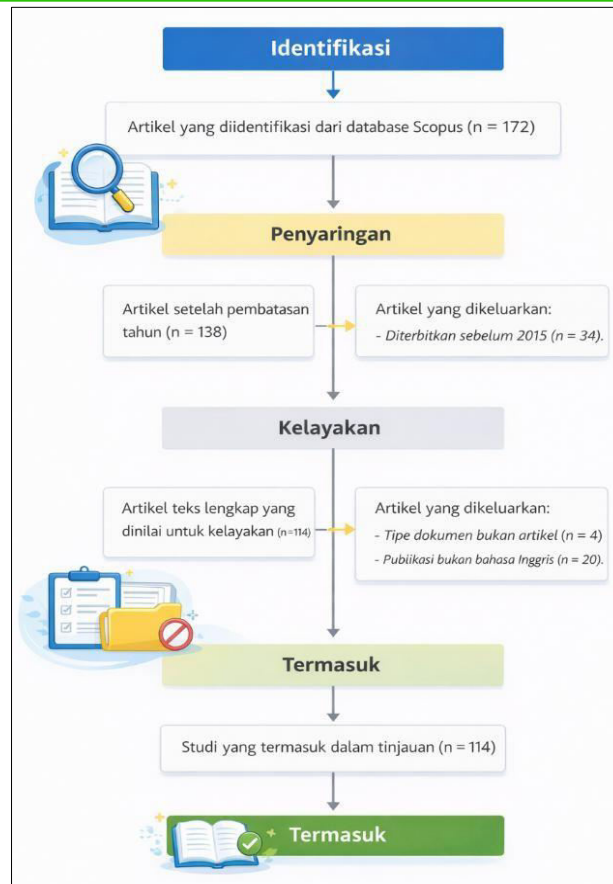
Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk memetakan tren publikasi global, struktur kolaborasi ilmiah, distribusi penelitian, serta perkembangan tema kajian terkait pemupukan NPK dan emisi dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O) melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) dan analisis bibliometrik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memetakan perkembangan penelitian global terkait pemupukan NPK dan emisi dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O) melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) dan analisis bibliometrik. Kajian ini difokuskan pada identifikasi tren publikasi, distribusi penelitian, pola kolaborasi ilmiah, serta perkembangan tema-tema utama dalam satu dekade terakhir. Dengan demikian, studi ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai struktur dan arah perkembangan penelitian, sekaligus mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan serta peluang pengembangan riset di masa depan terkait mitigasi emisi gas rumah kaca di sektor pertanian.

Sejalan dengan tujuan tersebut, pertanyaan penelitian yang diajukan dalam studi ini adalah: 1) menganalisis perkembangan dan pola publikasi penelitian global terkait pemupukan NPK dan emisi dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O) dalam satu dekade terakhir; 2) memetakan distribusi, alokasi, dan struktur kolaborasi penelitian terkait penggunaan pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O); serta 3) mensintesis perkembangan tema penelitian guna menyusun kerangka konseptual dan arah penelitian masa depan dalam upaya mitigasi emisi gas rumah kaca di sektor pertanian.

## **METODE**

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) yang dipadukan dengan analisis bibliometrik untuk mengkaji perkembangan penelitian terkait penggunaan pupuk NPK dengan emisi dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O). Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran yang lebih utuh, tidak hanya mengenai jumlah dan tren publikasi, tetapi juga pola keterkaitan antartopik serta arah perkembangan kajian dalam bidang tersebut. perkembangan tema penelitian, pola sitasi, serta struktur kolaborasi ilmiah dalam suatu bidang kajian (Donthu *et al.*, 2021). Selain itu, kombinasi SLR dan bibliometrik memungkinkan identifikasi kesenjangan penelitian dan arah pengembangan riset secara lebih sistematis.

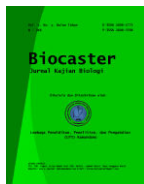
Penelitian ini mengikuti tahapan seleksi literatur yang baku guna memastikan proses kajian berlangsung secara terstruktur. Proses penelusuran dan seleksi literatur dilakukan dengan mengacu pada pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*), sehingga setiap tahapan penelitian dapat dilakukan secara sistematis dan transparan (Moher *et al.*, 2009; Page *et al.*, 2021). Dengan pendekatan ini, proses identifikasi hingga pemilihan artikel dapat ditelusuri secara jelas dan dapat direplikasi.



**Gambar 1. Alur Proses Seleksi Literatur Berdasarkan Pedoman PRISMA.**

Data penelitian dikumpulkan melalui basis data *Scopus* yang dipilih karena memiliki cakupan publikasi yang luas serta diakui sebagai salah satu referensi ilmiah bereputasi internasional. Penelusuran dilakukan pada bagian judul, abstrak, dan kata kunci menggunakan kueri sebagai berikut: *TITLE-ABS-KEY* (“*NPK fertilizer*” or “*compound fertilizer*” or “*nitrogen fertilizer*”) and (“*nitrous oxide*” or “*N<sub>2</sub>O emissions*” or “*greenhouse gas emissions*”). Untuk menjaga relevansi dan kualitas data, kriteria inklusi yang digunakan meliputi: 1) publikasi pada periode 2015–2025; 2) jenis dokumen berupa artikel penelitian (*article*); dan 3) menggunakan bahasa Inggris. Sementara itu, dokumen berupa *conference paper*, *review*, *editorial*, *book chapter*, dan publikasi nonbahasa Inggris tidak disertakan dalam analisis.

Proses seleksi dilakukan secara bertahap, dimulai dari identifikasi awal hingga penyaringan dan penilaian kelayakan. Hasil penelusuran awal menghasilkan 172 artikel. Setelah dilakukan pembatasan berdasarkan tahun publikasi, jumlah tersebut berkurang menjadi 138 artikel. Tahap selanjutnya adalah penyaringan berdasarkan jenis dokumen dan bahasa, sehingga diperoleh 114 artikel yang memenuhi kriteria dan digunakan sebagai dasar analisis. Seluruh artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan digunakan dalam kajian ini diperlakukan sebagai sumber data utama dan disitasi secara kolektif dalam daftar rujukan untuk menjaga transparansi dan replikasi penelitian.

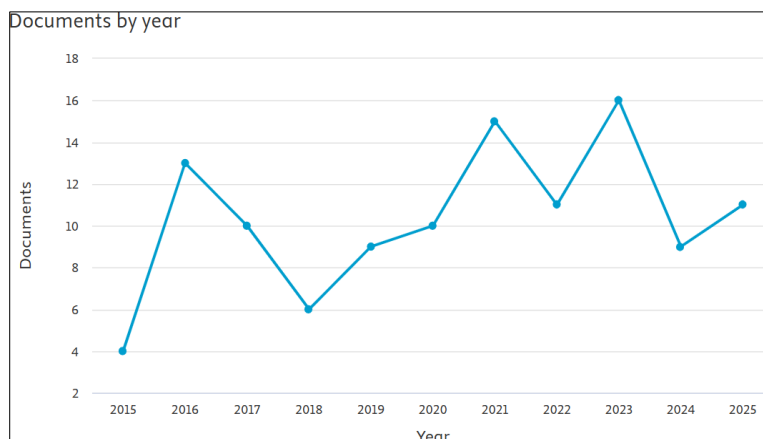


Analisis bibliometrik dilakukan menggunakan perangkat lunak *VOSviewer* versi 1.6.20 untuk memetakan struktur dan perkembangan penelitian (van Eck & Waltman, 2010). Analisis difokuskan pada jejaring kolaborasi penulis (*co-authorship*), keterkaitan kata kunci (*co-occurrence*), dan pola sitasi (*citation analysis*). Pada analisis *co-occurrence*, minimum *occurrence* kata kunci ditetapkan sebanyak 3 kemunculan, sedangkan pada analisis *co-authorship* digunakan *threshold* minimal 2 dokumen per penulis. Metode *counting* yang digunakan adalah *full counting* dengan normalisasi *association strength* untuk memvisualisasikan hubungan antarnode. Hasil visualisasi digunakan untuk mengidentifikasi tema-tema dominan, pola kolaborasi ilmiah, serta kecenderungan perkembangan penelitian terkait penggunaan pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perkembangan Penelitian Terkait Penggunaan Pupuk NPK dan Emisi Dinitrogen Oksida ( $N_2O$ ) dalam Satu Dekade Terakhir

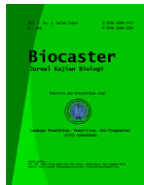
Analisis tren publikasi dilakukan untuk melihat perkembangan perhatian ilmiah terhadap kajian pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) dalam satu dekade terakhir. Distribusi jumlah publikasi tahunan digunakan untuk mengidentifikasi dinamika perkembangan penelitian serta kecenderungan arah kajian pada bidang tersebut.



**Gambar 2.** Tren Publikasi Ilmiah Terkait Pupuk NPK dan Emisi Dinitrogen Oksida ( $N_2O$ ) Tahun 2015-2025.

Berdasarkan Gambar 2, publikasi terkait pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) selama periode 2015–2025 menunjukkan tren meningkat meskipun bersifat fluktuatif. Jumlah publikasi meningkat dari 4 dokumen pada tahun 2015 menjadi puncaknya sebanyak 16 dokumen pada tahun 2023. Peningkatan publikasi terlihat lebih konsisten setelah tahun 2019 yang menunjukkan bahwa topik ini mulai berkembang sebagai fokus penting dalam kajian pertanian dan lingkungan global.

Secara umum, pola perkembangan publikasi menunjukkan bahwa penelitian mengenai emisi  $N_2O$  dari pemupukan NPK sedang bergerak menuju fase pematangan keilmuan. Lonjakan publikasi pada periode 2020–2023



mengindikasikan meningkatnya perhatian terhadap kontribusi sektor pertanian terhadap emisi gas rumah kaca, terutama dalam konteks mitigasi perubahan iklim dan pengembangan pertanian berkelanjutan. Tren ini juga menunjukkan bahwa isu efisiensi penggunaan nitrogen mulai terintegrasi dalam diskursus penelitian terkait emisi  $N_2O$ .

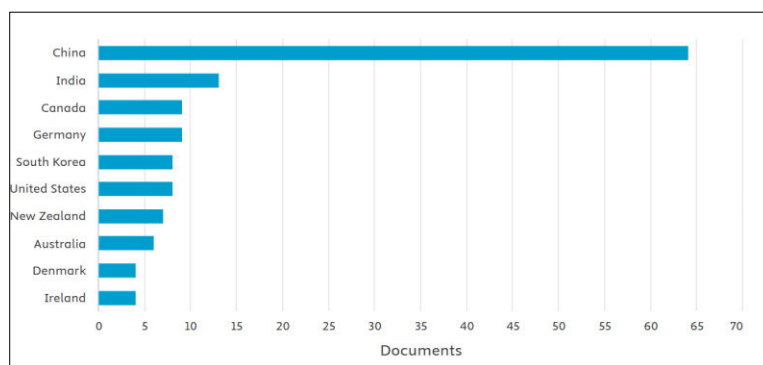
Meskipun demikian, pola publikasi yang masih fluktuatif mengindikasikan bahwa struktur penelitian pada bidang ini belum sepenuhnya stabil. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengembangan penelitian masih didominasi oleh tema-tema tertentu dan belum berkembang secara merata pada berbagai pendekatan kajian. Temuan ini mengindikasikan bahwa penelitian terkait pupuk NPK dan emisi  $N_2O$  masih berada dalam fase ekspansi, dengan fokus utama pada penguatan pemahaman mengenai dampak pemupukan terhadap emisi gas rumah kaca di sektor pertanian.

### **Alokasi dan Distribusi Penelitian yang Berkaitan dengan Penggunaan Pupuk NPK dan Emisi Dinitrogen Oksida ( $N_2O$ )**

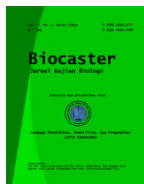
Analisis alokasi penelitian mengenai pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) dilakukan dengan mengelompokkan artikel-artikel terpilih berdasarkan beberapa klasifikasi bibliometrik, meliputi negara atau wilayah asal penelitian, afiliasi institusi, sumber jurnal, serta penulis. Untuk menjaga fokus analisis dan menghindari dominasi data yang berlebihan, pembahasan difokuskan pada sepuluh kajian teratas pada setiap kategori klasifikasi. Pemahaman mengenai distribusi penelitian ini menjadi penting bagi akademisi dan praktisi, karena dapat memberikan gambaran mengenai pusat-pusat penelitian utama, pola kolaborasi ilmiah, serta wilayah yang memiliki kontribusi signifikan dalam kajian emisi  $N_2O$  dari penggunaan pupuk NPK. Selain itu, analisis ini juga berperan dalam mengidentifikasi ketimpangan geografis penelitian serta potensi wilayah yang masih kurang tereksplorasi

#### ***Distribusi Publikasi Berdasarkan Negara***

Analisis distribusi publikasi berdasarkan negara dilakukan untuk mengidentifikasi pusat-pusat produksi pengetahuan dan pola kontribusi global dalam penelitian terkait pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ). Distribusi ini mencerminkan tingkat perhatian, kapasitas riset, serta keterlibatan masing-masing negara dalam pengembangan kajian emisi gas rumah kaca di sektor pertanian.



**Gambar 3. Tren Publikasi Ilmiah terkait Pupuk NPK dan Emisi Dinitrogen Oksida ( $N_2O$ ) Tahun 2015-2025.**

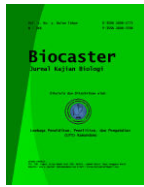


Berdasarkan Gambar 3, distribusi publikasi terkait pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) menunjukkan konsentrasi penelitian yang sangat kuat pada negara tertentu, khususnya China. China mendominasi publikasi dengan 65 dokumen, jauh melampaui negara lain seperti India, Kanada, Jerman, Amerika Serikat, dan Korea Selatan yang memiliki jumlah publikasi relatif lebih rendah. Pola ini menunjukkan bahwa struktur produksi pengetahuan pada bidang ini masih bersifat terpusat dan belum terdistribusi secara merata secara global. Dominasi China mengindikasikan bahwa negara tersebut berperan sebagai pusat utama pengembangan penelitian terkait emisi  $N_2O$  dari pemupukan NPK. Kondisi ini berkaitan dengan tingginya intensifikasi pertanian dan penggunaan pupuk nitrogen di China yang mendorong meningkatnya perhatian terhadap efisiensi penggunaan nitrogen dan mitigasi emisi gas rumah kaca (FAO, 2022). Selain itu, dukungan kebijakan pemerintah, kapasitas riset yang kuat, dan tingginya investasi penelitian turut mempercepat perkembangan publikasi ilmiah pada bidang ini (Afreh *et al.*, 2018; Liang *et al.*, 2022; Lv *et al.*, 2021).

Sementara itu, negara-negara seperti Kanada, Jerman, dan Amerika Serikat menunjukkan kontribusi yang lebih moderat meskipun dikenal memiliki kapasitas riset pertanian dan lingkungan yang tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa perhatian penelitian terhadap emisi  $N_2O$  dari pemupukan NPK berkembang dengan intensitas yang berbeda antarnegara, dipengaruhi oleh prioritas kebijakan, fokus penelitian nasional, dan karakteristik sistem pertanian masing-masing. Di sisi lain, rendahnya jumlah publikasi dari negara-negara seperti Selandia Baru, Australia, Denmark, dan Irlandia mengindikasikan bahwa representasi penelitian global masih belum merata secara geografis. Padahal, intensifikasi pertanian dan penggunaan pupuk nitrogen juga berkembang di berbagai wilayah tersebut (FAO, 2022). Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara distribusi praktik pertanian di lapangan dengan representasi penelitian ilmiah yang terdokumentasi dalam literatur global.

Temuan ini menegaskan adanya bias geografis dalam struktur penelitian terkait emisi  $N_2O$  dari pemupukan NPK. Produksi pengetahuan masih didominasi oleh negara dengan kapasitas riset dan investasi penelitian yang tinggi, sementara kontribusi dari banyak wilayah berkembang masih relatif terbatas. Hal ini menunjukkan perlunya perluasan penelitian lintas wilayah agar pengembangan pengetahuan terkait emisi gas rumah kaca di sektor pertanian menjadi lebih representatif secara global. Dominasi publikasi oleh negara tertentu tidak hanya mencerminkan tingginya produktivitas penelitian, tetapi juga berkaitan dengan keterlibatan negara tersebut dalam jejaring kolaborasi ilmiah global. Oleh karena itu, analisis *co-authorship* antarnegara dilakukan untuk mengidentifikasi pola hubungan penelitian, tingkat keterhubungan ilmiah, serta negara-negara yang berperan sebagai pusat kolaborasi dalam kajian pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ). Selain menggambarkan intensitas kerja sama ilmiah, analisis *co-authorship* antarnegara juga memberikan gambaran mengenai distribusi pertukaran pengetahuan dan kapasitas penelitian dalam skala global. Jejaring kolaborasi yang kuat memungkinkan terjadinya transfer metodologi, pemanfaatan data lintas lokasi, serta pengembangan pendekatan yang lebih komprehensif dalam mengkaji faktor-faktor yang memengaruhi emisi  $N_2O$ .

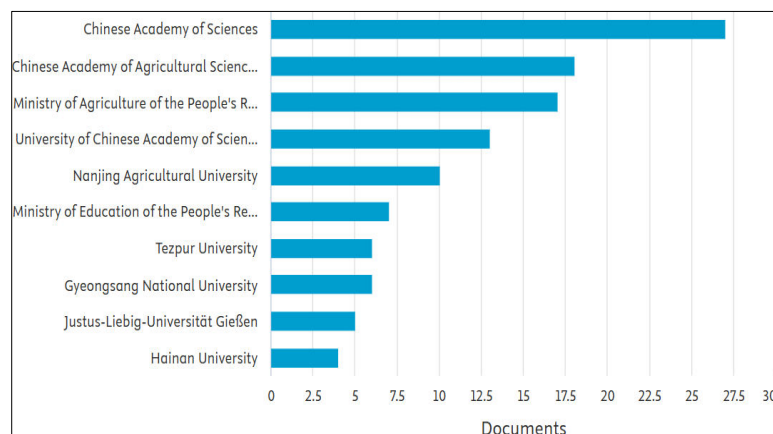




Secara keseluruhan, struktur jaringan kolaborasi ini menunjukkan bahwa pengembangan penelitian terkait pupuk NPK dan emisi  $N_2O$  masih terkonsentrasi pada negara-negara tertentu dengan jejaring ilmiah yang kuat. Temuan ini sekaligus menegaskan bahwa kolaborasi internasional menjadi faktor penting dalam pembentukan dan distribusi pengetahuan ilmiah pada bidang emisi gas rumah kaca di sektor pertanian.

#### ***Distribusi Publikasi Berdasarkan Institusi***

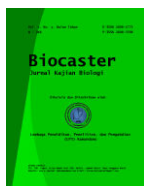
Selain distribusi publikasi berdasarkan negara, analisis afiliasi institusi dilakukan untuk mengidentifikasi lembaga-lembaga yang berperan dominan dalam pengembangan penelitian terkait pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ). Analisis ini penting untuk menunjukkan pusat produksi pengetahuan serta keterlibatan institusi akademik dan pemerintah dalam pengembangan kajian emisi gas rumah kaca di sektor pertanian.



**Gambar 5. Sepuluh Institusi Teratas Berdasarkan Jumlah Publikasi tentang Pupuk NPK dan Emisi Dinitrogen Oksida ( $N_2O$ ).**

Berdasarkan Gambar 5, institusi dengan jumlah publikasi tertinggi dalam kajian pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) didominasi oleh lembaga yang berbasis di China. Chinese Academy of Sciences menempati posisi teratas, diikuti oleh Chinese Academy of Agricultural Sciences dan Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Selain itu, beberapa institusi lain seperti University of Chinese Academy of Sciences dan Nanjing Agricultural University juga menunjukkan kontribusi publikasi yang tinggi. Temuan ini memperlihatkan bahwa struktur produksi pengetahuan pada bidang ini terkonsentrasi pada institusi riset besar dengan kapasitas penelitian yang kuat.

Dominasi institusi China memperkuat hasil analisis sebelumnya yang menunjukkan posisi sentral China dalam penelitian terkait emisi  $N_2O$  dari pemupukan NPK. Tingginya produktivitas publikasi institusi tersebut mengindikasikan adanya dukungan riset yang terintegrasi antara lembaga penelitian, universitas, dan pemerintah dalam pengembangan kajian pertanian dan lingkungan. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengembangan penelitian terkait emisi gas rumah kaca di sektor pertanian tidak hanya didorong oleh kepentingan akademik, tetapi juga oleh kebutuhan kebijakan nasional terkait efisiensi penggunaan nitrogen dan mitigasi perubahan iklim (FAO, 2022).

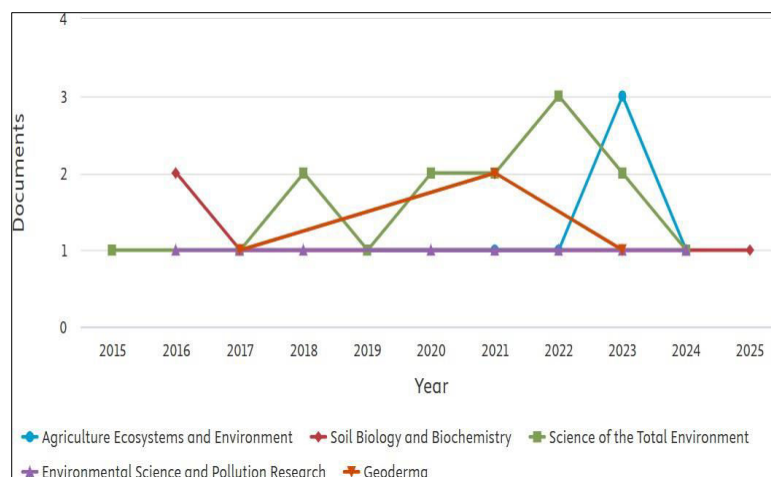


Keberadaan institusi pemerintah seperti Ministry of Agriculture dan Ministry of Education juga menunjukkan bahwa isu emisi N<sub>2</sub>O telah menjadi bagian dari agenda strategis dalam pengelolaan pertanian berkelanjutan. Hal ini mengindikasikan adanya keterhubungan yang kuat antara pengembangan penelitian ilmiah dan kebijakan pengelolaan lingkungan di sektor pertanian. Di sisi lain, institusi dari negara lain seperti Tezpur University (India), Gyeongsang National University (Korea Selatan), dan Justus-Liebig-Universität Gießen (Jerman) menunjukkan kontribusi yang relatif lebih rendah.

Temuan ini mengindikasikan bahwa kapasitas produksi pengetahuan pada bidang ini masih terpusat pada institusi tertentu dengan dukungan pendanaan, infrastruktur, dan jaringan riset yang kuat. Secara keseluruhan, pola distribusi institusi menunjukkan bahwa pengembangan penelitian terkait pupuk NPK dan emisi N<sub>2</sub>O masih didominasi oleh kelompok institusi besar yang memiliki kapasitas riset tinggi dan dukungan kebijakan yang kuat. Kondisi ini sekaligus menegaskan adanya konsentrasi produksi pengetahuan yang berpotensi memengaruhi arah perkembangan penelitian global pada bidang tersebut.

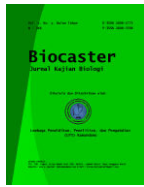
#### ***Distribusi Publikasi Berdasarkan Sumber Jurnal***

Analisis sumber jurnal dilakukan untuk mengidentifikasi media publikasi utama dan kecenderungan disiplin ilmu yang mendominasi penelitian terkait pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O). Distribusi publikasi berdasarkan jurnal juga menunjukkan bagaimana bidang kajian ini berkembang dan terintegrasi dalam berbagai disiplin penelitian.



**Gambar 6. Tren Publikasi Tahunan Berdasarkan Sumber Jurnal pada Kajian Pupuk NPK dan Emisi Dinitrogen Oksida (2015-2025).**

Berdasarkan Gambar 6, publikasi terkait pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O) tersebar pada beberapa jurnal utama yang didominasi oleh bidang ilmu lingkungan, tanah, dan sistem pertanian. *Science of the Total Environment* menjadi jurnal dengan kontribusi publikasi paling konsisten dan mencapai puncak publikasi pada tahun 2022. Sementara itu, *Agriculture, Ecosystems and Environment* menunjukkan peningkatan publikasi pada periode 2021–2023 yang mengindikasikan meningkatnya perhatian terhadap hubungan antara praktik pertanian dan dampak lingkungan.

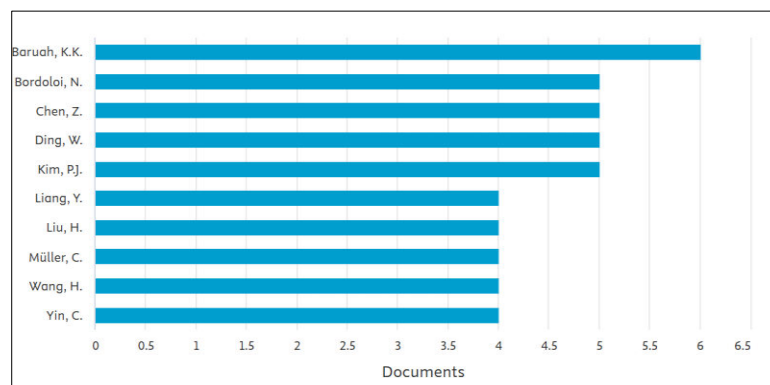


Di sisi lain, jurnal seperti *Geoderma* dan *Soil Biology and Biochemistry* menunjukkan kontribusi yang relatif stabil dengan fokus kajian yang lebih spesifik pada aspek tanah dan proses biogeokimia. Adapun *Environmental Science and Pollution Research* memperlihatkan pola publikasi yang cenderung konstan sepanjang periode pengamatan, menunjukkan bahwa isu emisi  $N_2O$  secara konsisten diposisikan sebagai bagian dari kajian pencemaran dan lingkungan. Secara umum, distribusi publikasi antarjurnal menunjukkan tiga kecenderungan utama dalam perkembangan penelitian bidang ini. Pertama, dominasi jurnal lingkungan menunjukkan bahwa emisi  $N_2O$  dari pemupukan NPK lebih banyak dipahami dalam konteks mitigasi perubahan iklim dan pencemaran lingkungan. Kedua, keberadaan jurnal ilmu tanah seperti *Geoderma* dan *Soil Biology and Biochemistry* menunjukkan bahwa pendekatan biogeokimia tanah masih menjadi tema dominan dalam struktur penelitian. Ketiga, meningkatnya kontribusi jurnal berbasis sistem pertanian seperti *Agriculture, Ecosystems and Environment* mengindikasikan mulai berkembangnya integrasi antara aspek agronomi, produktivitas tanaman, dan keberlanjutan pertanian.

Temuan ini menunjukkan bahwa struktur pengetahuan penelitian terkait emisi  $N_2O$  dari pemupukan NPK berkembang secara multidisiplin, tetapi masih didominasi oleh pendekatan lingkungan dan proses tanah. Integrasi penelitian yang menghubungkan efisiensi penggunaan nitrogen, produktivitas pertanian, dan mitigasi emisi gas rumah kaca masih relatif terbatas. Kondisi tersebut memperkuat indikasi adanya fragmentasi tema penelitian dan menunjukkan perlunya pengembangan pendekatan yang lebih integratif dalam kajian emisi gas rumah kaca di sektor pertanian.

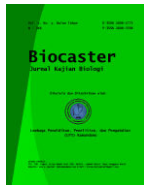
#### ***Distribusi Publikasi Berdasarkan Penulis***

Analisis produktivitas penulis dilakukan untuk mengidentifikasi peneliti yang memiliki kontribusi paling aktif dalam pengembangan kajian pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ). Distribusi publikasi berdasarkan penulis juga menunjukkan bagaimana struktur produksi pengetahuan berkembang melalui kontribusi individu maupun kolaborasi ilmiah.



**Gambar 7. Distribusi Jumlah Publikasi Berdasarkan Penulis pada Kajian Pupuk NPK dan Emisi  $N_2O$ .**

Berdasarkan Gambar 7, distribusi publikasi berdasarkan penulis menunjukkan bahwa produktivitas penelitian terkait pupuk NPK dan emisi



dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) tersebar pada beberapa peneliti utama dengan jumlah publikasi yang relatif berimbang. Penulis seperti Bordoloi & Baruah (2017), Ding *et al.* (2019), Yin *et al.* (2020), serta Zupic & Čater (2015) menunjukkan kontribusi publikasi yang cukup konsisten dalam pengembangan kajian emisi  $N_2O$  dari pemupukan NPK. Selain itu, beberapa penelitian lain seperti Kong *et al.* (2021), Liang *et al.* (2022), dan Liu *et al.* (2023) juga memperlihatkan keterlibatan aktif dalam pengembangan tema terkait efisiensi penggunaan nitrogen, dinamika nitrogen tanah, dan emisi gas rumah kaca di sektor pertanian.

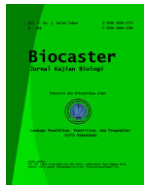
Pola distribusi tersebut menunjukkan bahwa struktur produksi pengetahuan pada bidang emisi  $N_2O$  dari pemupukan NPK tidak didominasi secara ekstrem oleh satu peneliti tertentu, melainkan berkembang melalui kontribusi kolektif dari sejumlah peneliti utama. Temuan ini mengindikasikan bahwa bidang kajian ini masih berada dalam fase berkembang dengan pola penelitian yang relatif kolaboratif dan multidisiplin. Jika dikaitkan dengan analisis negara dan institusi sebelumnya, produktivitas penulis yang tinggi juga berkorelasi dengan dominasi institusi dan negara tertentu, khususnya China dan beberapa negara Asia lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa produktivitas individu peneliti sangat dipengaruhi oleh dukungan ekosistem riset, seperti kapasitas institusi, pendanaan penelitian, dan jejaring kolaborasi ilmiah. Kondisi ini turut memperkuat posisi kawasan Asia sebagai salah satu pusat perkembangan penelitian terkait emisi  $N_2O$ .

Selain itu, distribusi publikasi yang relatif merata antarpemulis menunjukkan bahwa pengembangan penelitian terkait emisi  $N_2O$  tidak hanya terpusat pada kelompok peneliti tertentu, tetapi melibatkan kontribusi dari berbagai latar belakang keilmuan. Kondisi ini mencerminkan karakteristik penelitian emisi gas rumah kaca di sektor pertanian yang bersifat multidisiplin dan memerlukan integrasi pendekatan agronomi, ilmu tanah, lingkungan, serta keberlanjutan pertanian. Beberapa penelitian sebelumnya, seperti Ding *et al.* (2019), Kong *et al.* (2021), Liang *et al.* (2022), dan Zupic & Čater (2015) menunjukkan bahwa kajian emisi  $N_2O$  berkembang melalui pendekatan yang beragam, mulai dari pengukuran emisi lapangan, dinamika nitrogen tanah, hingga efisiensi penggunaan pupuk dan mitigasi emisi gas rumah kaca.

Pola tersebut menunjukkan bahwa pengembangan pengetahuan dalam bidang ini tidak hanya bergantung pada produktivitas individu peneliti, tetapi juga pada kemampuan mengintegrasikan berbagai pendekatan penelitian dalam memahami hubungan antara praktik pemupukan dan emisi gas rumah kaca. Secara keseluruhan, distribusi produktivitas penulis mengindikasikan bahwa penelitian terkait pupuk NPK dan emisi  $N_2O$  berkembang melalui struktur kolaboratif yang relatif terbuka dan terus berkembang. Temuan ini sekaligus menunjukkan masih terbukanya peluang pengembangan penelitian dan perluasan kontribusi ilmiah dari peneliti maupun institusi di berbagai wilayah, khususnya dalam mengintegrasikan aspek produktivitas pertanian dan mitigasi perubahan iklim secara lebih komprehensif. Selain produktivitas penulis, analisis *co-authorship* dilakukan untuk mengidentifikasi struktur jejaring kolaborasi antarpemulis dalam kajian pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida ( $N_2O$ ). Visualisasi ini menunjukkan tingkat keterhubungan antarpemulis, pembentukan klaster kolaborasi, serta aktor-aktor utama yang berperan dalam pengembangan bidang penelitian tersebut.







isu perubahan iklim, keberlanjutan pertanian, dan produktivitas tanaman. Kehadiran kata kunci seperti *methane* dan *greenhouse gas* juga mengindikasikan bahwa beberapa penelitian mulai mengembangkan pendekatan yang lebih terintegrasi terhadap emisi gas rumah kaca di sektor pertanian. Meskipun ketiga klaster tersebut saling terhubung, struktur jaringan menunjukkan bahwa penelitian masih cenderung terfragmentasi berdasarkan fokus kajian masing-masing. Tema mengenai mekanisme emisi dan dinamika nitrogen tanah terlihat lebih dominan dibandingkan penelitian yang mengintegrasikan efisiensi penggunaan nitrogen, produktivitas tanaman, dan strategi mitigasi emisi secara simultan. Temuan ini menunjukkan bahwa pengembangan penelitian masih lebih kuat pada aspek proses dan pengukuran emisi dibandingkan pendekatan sistem pertanian berkelanjutan yang lebih komprehensif.

Secara keseluruhan, peta *co-occurrence* kata kunci menegaskan bahwa struktur penelitian terkait pupuk NPK dan emisi N<sub>2</sub>O berkembang melalui tiga domain utama, yaitu praktik pemupukan, proses biogeokimia tanah, dan perubahan iklim. Namun demikian, keterhubungan antardomain tersebut masih belum sepenuhnya terintegrasi. Kondisi ini menunjukkan adanya peluang pengembangan penelitian yang lebih multidisiplin untuk menghubungkan aspek agronomi, efisiensi penggunaan nutrisi, produktivitas tanaman, dan mitigasi perubahan iklim dalam satu kerangka penelitian yang lebih utuh.

### **Implikasi Teoretis dan Arah Penelitian di Masa Depan Terkait Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Pertanian**

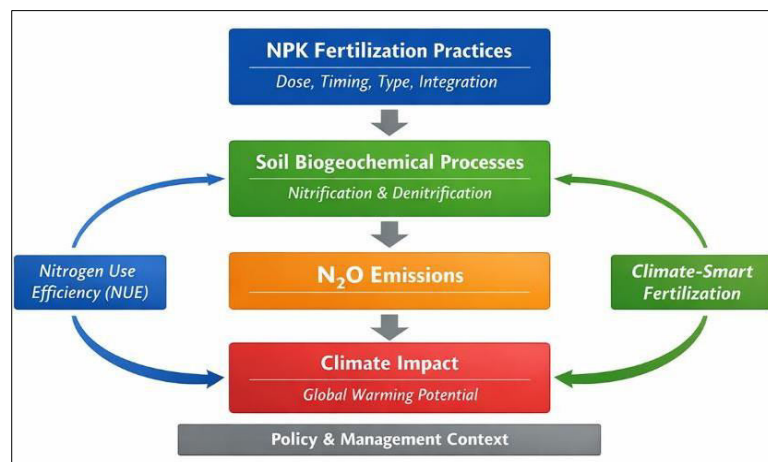
Berdasarkan sintesis hasil *systematic literature review* dan analisis bibliometrik, penelitian mengenai penggunaan pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O) menunjukkan perkembangan yang cukup pesat dalam satu dekade terakhir, namun masih memperlihatkan kecenderungan yang terfragmentasi, baik secara tematik maupun struktural. Fragmentasi ini tercermin dari dominasi pendekatan biogeokimia tanah yang berfokus pada proses nitrifikasi dan denitrifikasi, sementara keterkaitan dengan aspek agronomi, efisiensi penggunaan nitrogen, serta implikasi kebijakan masih relatif terbatas.

Temuan ini sejalan dengan laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* yang menegaskan bahwa emisi N<sub>2</sub>O dari sektor pertanian merupakan hasil interaksi kompleks antara proses tanah, praktik pengelolaan, dan faktor iklim, sehingga tidak dapat dipahami secara parsial melalui satu pendekatan disiplin saja (IPCC, 2022). Selain itu, laporan *Food and Agriculture Organization* menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan pupuk nitrogen secara global tidak selalu diikuti oleh efisiensi penggunaan nitrogen yang optimal, yang justru berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca dari sektor pertanian (FAO, 2022).

Dalam konteks tersebut, hasil analisis *co-occurrence* kata kunci dalam penelitian ini menunjukkan adanya tiga domain utama yang berkembang secara relatif terpisah, yaitu: 1) mekanisme biogeokimia tanah; 2) praktik pemupukan dan sistem pertanian; serta 3) perubahan iklim dan emisi gas rumah kaca. Meskipun ketiga domain ini saling berkaitan secara konseptual, keterhubungannya dalam kerangka penelitian yang terintegrasi masih belum kuat. Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan konseptual dalam literatur, khususnya

dalam menghubungkan proses mikro di dalam tanah dengan implikasi makro terhadap sistem pertanian dan perubahan iklim.

Secara teoretis, penelitian ini menegaskan perlunya pengembangan kerangka konseptual yang lebih integratif, tidak hanya menempatkan emisi  $N_2O$  sebagai fenomena biogeokimia, tetapi juga sebagai bagian dari sistem pertanian yang lebih luas. Kerangka ini perlu menghubungkan secara simultan praktik pemupukan NPK, dinamika nitrogen dalam tanah, efisiensi penggunaan nitrogen (*nitrogen use efficiency*), produktivitas tanaman, serta dampaknya terhadap emisi gas rumah kaca. Dengan pendekatan ini, analisis emisi  $N_2O$  tidak lagi berdiri sendiri, melainkan menjadi bagian dari sistem evaluasi keberlanjutan pertanian secara keseluruhan. Sintesis hubungan konseptual tersebut divisualkan pada Gambar 10.

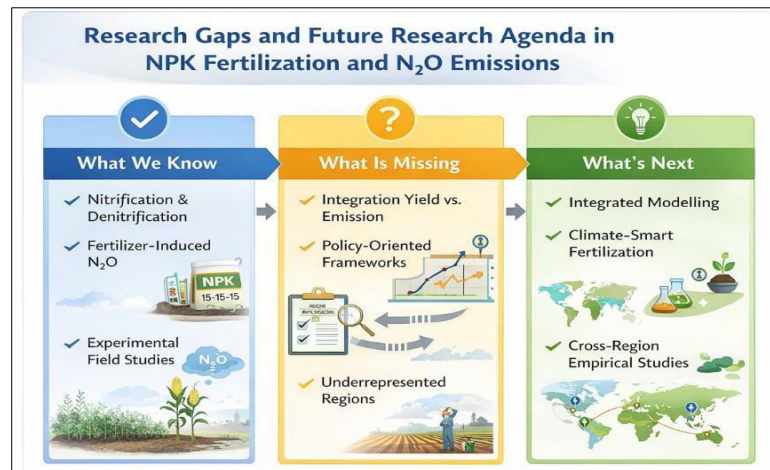


**Gambar 10. Kerangka Konseptual Pemupukan NPK dan Emisi  $N_2O$  Berdasarkan Sintesis Literatur (2015-2025).**

Gambar 10 menunjukkan keterkaitan antara praktik pemupukan NPK, dinamika nitrogen dalam tanah, efisiensi penggunaan nitrogen, serta implikasinya terhadap emisi  $N_2O$  dan produktivitas tanaman. Dari sisi empiris, hasil kajian ini juga menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian masih berfokus pada skala *plot* atau eksperimen lapangan dengan kondisi yang terkontrol, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kompleksitas sistem pertanian di tingkat lanskap atau regional. Selain itu, distribusi penelitian yang masih terpusat pada negara tertentu menunjukkan adanya bias geografis dalam pengembangan pengetahuan ilmiah. Padahal, laporan *Food and Agriculture Organization* dan *Intergovernmental Panel on Climate Change* menegaskan bahwa peningkatan penggunaan pupuk nitrogen dan kontribusi emisi  $N_2O$  juga terjadi secara signifikan di kawasan berkembang seperti Asia Tenggara, Afrika, dan Amerika Latin yang justru masih kurang terwakili dalam literatur ilmiah global.

Berdasarkan sintesis tersebut, arah penelitian ke depan perlu difokuskan pada beberapa hal utama. Pertama, pengembangan pendekatan integratif yang mampu menghubungkan produktivitas tanaman dengan mitigasi emisi  $N_2O$  dalam satu kerangka analisis yang utuh, sehingga dapat mengatasi *trade-off* antara peningkatan hasil dan dampak lingkungan. Kedua, peningkatan penelitian lintas

wilayah, khususnya pada agroekosistem tropis dan negara berkembang untuk menghasilkan pemahaman yang lebih representatif terhadap kondisi global. Ketiga, penguatan pendekatan multidisiplin yang mengombinasikan eksperimen lapangan, pemodelan emisi, serta analisis kebijakan guna menghasilkan rekomendasi yang lebih aplikatif. Kesenjangan penelitian dan arah pengembangan selanjutnya dirangkum dalam Gambar 11.



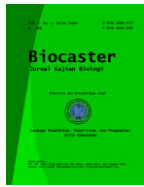
**Gambar 11 . Kesenjangan Penelitian dan Agenda Penelitian Masa Depan Terkait Pemupukan NPK dan Emisi N<sub>2</sub>O.**

Gambar 11 menegaskan bahwa penelitian ke depan perlu mengarah pada integrasi antara aspek agronomi, proses biogeokimia tanah, serta mitigasi perubahan iklim dalam satu kerangka yang lebih komprehensif. Lebih lanjut, penelitian di masa depan juga perlu mengarah pada pengembangan praktik pemupukan cerdas iklim (*climate-smart fertilization*), seperti penggunaan pupuk berteknologi efisiensi tinggi, pengelolaan dosis dan waktu aplikasi yang lebih presisi, serta integrasi pupuk organik dan anorganik. Pendekatan ini tidak hanya berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen, tetapi juga menekan emisi N<sub>2</sub>O secara simultan, sebagaimana ditunjukkan dalam berbagai studi empiris sebelumnya (Bordoloi & Baruah, 2017; Guo *et al.*, 2020).

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi konseptual dengan mengintegrasikan berbagai temuan yang sebelumnya tersebar menjadi suatu kerangka pemahaman yang lebih komprehensif. Pendekatan ini diharapkan dapat menjembatani kesenjangan antara penelitian eksperimental, kebutuhan praktik pertanian di lapangan, serta perumusan kebijakan mitigasi perubahan iklim di sektor pertanian.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil *systematic literature review* dan analisis bibliometrik, penelitian terkait pupuk NPK dan emisi dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O) menunjukkan perkembangan yang meningkat dalam satu dekade terakhir, terutama setelah tahun 2020. Struktur penelitian pada bidang ini masih didominasi oleh negara dan institusi tertentu, khususnya China, sehingga menunjukkan adanya konsentrasi produksi pengetahuan dan potensi bias geografis dalam literatur global.



Analisis *co-occurrence* menunjukkan bahwa penelitian masih berfokus pada tema pemupukan, dinamika nitrogen tanah, dan emisi gas rumah kaca, sementara integrasi antara efisiensi penggunaan nitrogen, produktivitas tanaman, dan mitigasi perubahan iklim masih relatif terbatas. Selain itu, jaringan *co-authorship* memperlihatkan bahwa kolaborasi penelitian telah berkembang cukup aktif, namun masih menunjukkan fragmentasi antarkelompok peneliti.

Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa penelitian terkait emisi N<sub>2</sub>O dari pemupukan NPK masih memerlukan pendekatan yang lebih integratif dan multidisiplin. Pengembangan penelitian ke depan perlu diarahkan pada penguatan keterhubungan antara aspek agronomi, pengelolaan nutrisi, produktivitas pertanian, dan mitigasi perubahan iklim untuk mendukung sistem pertanian berkelanjutan yang lebih komprehensif.

## SARAN

Berdasarkan hasil kajian ini, pengembangan penelitian selanjutnya perlu diarahkan pada pendekatan yang lebih terintegrasi antara praktik pemupukan NPK, efisiensi penggunaan nitrogen, produktivitas tanaman, dan mitigasi emisi N<sub>2</sub>O dalam satu kerangka analisis yang utuh. Selain itu, perluasan studi pada berbagai agroekosistem, khususnya di wilayah yang masih kurang terwakili seperti Asia Tenggara, Afrika, dan Amerika Latin, sehingga menjadi penting untuk memperoleh gambaran yang lebih representatif secara global.

Pendekatan multidisiplin yang mengombinasikan eksperimen lapangan, pemodelan emisi, dan analisis kebijakan juga perlu dikembangkan guna menghasilkan rekomendasi yang lebih aplikatif. Namun, kajian ini memiliki keterbatasan pada penggunaan satu basis data dan pendekatan bibliometrik yang bersifat kuantitatif. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengombinasikan analisis bibliometrik dengan meta-analisis atau studi empiris lintas wilayah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

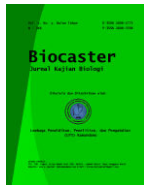
Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, dan masukan yang berharga selama proses penyusunan kajian ini. Kontribusi tersebut berperan penting dalam meningkatkan kualitas analisis dan penyajian ilmiah dalam penelitian ini.

## DAFTAR RUJUKAN

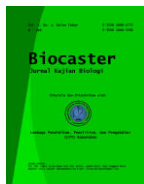
- Afreh, D., Zhang, J., Guan, D., Liu, K., Song, Z., Zheng, C., Deng, A., Feng, X., Zhang, X., Wu, Y., Huang, Q., & Zhang, W. (2018). Long-Term Fertilization on Nitrogen Use Efficiency and Greenhouse Gas Emissions in a Double Maize Cropping System in Subtropical China. *Soil and Tillage Research*, 180(1), 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.03.016>
- Andana, D. S., Jannah, H., & Safnowandi, S. (2023). Pemanfaatan Bintil Akar Kacang Tanah (*Arachis hypogaea*) sebagai Pupuk Biologi untuk Pertumbuhan Bibit Cabai Rawit (*Capsicum frutescens*) dalam Upaya Penyusunan Petunjuk Praktikum Fisiologi Tumbuhan II. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 3(1), 1-10. <https://doi.org/10.36312/bjkb.v3i1.145>
- Bordoloi, N., & Baruah, K. K. (2017). A Two-Year Field Assessment on the



- Effect of Slow Release of Nitrogenous Fertiliser on N<sub>2</sub>O Emissions from a Wheat Cropping System. *Soil Research*, 55(2), 191–200. <https://doi.org/10.1071/SR16001>
- Cui, P., Fan, F., Yin, C., Song, A., Huang, P., Tang, Y., Zhu, P., Peng, C., Li, T., Wakelin, S. A., & Liang, Y. (2016). Long-Term Organic and Inorganic Fertilization Alters the Temperature Sensitivity of Potential N<sub>2</sub>O Emissions and Associated Microbes. *Soil Biology and Biochemistry*, 93(1), 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.11.005>
- Dhadli, H. S., Brar, B. S., & Black, T. A. (2016). N<sub>2</sub>O Emissions in a Long-Term Soil Fertility Experiment Under a Maize-Wheat Cropping System in Northern India. *Geoderma Regional*, 7(2), 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2016.02.003>
- Ding, F., Sun, W., & Huang, Y. (2019). Net N<sub>2</sub>O Production from Soil Particle Size Fractions and its Response to Changing Temperature. *Science of the Total Environment*, 650(1), 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.428>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to Conduct a Bibliometric Analysis: An Overview and Guidelines. *Journal of Business Research*, 133(1), 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- FAO. (2022). *World Fertilizer Trends and Outlook to 2022*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Geng, Y., Yuan, Y., Miao, Y., Zhi, J., Huang, M., Zhang, Y., Wang, H., Shen, Q., Zou, J., & Li, S. (2021). Decreased Nitrous Oxide Emissions Associated with Functional Microbial Genes Under Bio-Organic Fertilizer Application in Vegetable Fields. *Pedosphere*, 31(2), 279–288. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60075-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60075-3)
- Guo, S., Pan, J., Zhai, L., Khoshnevisan, B., Wu, S., Wang, H., Yang, B., Liu, H., & Lei, B. (2020). The Reactive Nitrogen Loss and GHG Emissions from a Maize System After a Long-Term Livestock Manure Incorporation in the North China Plain. *Science of the Total Environment*, 720(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137558>
- Haque, M. M., Kim, S. Y., Ali, M. A., & Kim, P. J. (2015). Contribution of Greenhouse Gas Emissions During Cropping and Fallow Seasons on Total Global Warming Potential in Mono-Rice Paddy Soils. *Plant and Soil*, 387(1), 251–264. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2287-2>
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jiang, K., Yu, A., Wang, Y., Wang, P., Shang, Y., Yin, B., Liu, Y., Zhang, D., Huo, J., Pang, X., & Wang, F. (2025). Replacing 20% of Chemical Nitrogen with Organic Fertilizer Improves Yield and Soil Quality While Reducing N<sub>2</sub>O Emissions in Waxy Maize. *Plant and Soil*, 514(2), 1885–1901. <https://doi.org/10.1007/s11104-025-07494-4>
- Kong, D., Jin, Y., Chen, J., Yu, K., Zheng, Y., Wu, S., Liu, S., & Zou, J. (2021). Nitrogen Use Efficiency Exhibits a Trade-Off Relationship with Soil N<sub>2</sub>O and NO Emissions from Wheat-Rice Rotations Receiving Manure



- Substitution. *Geoderma*, 403(1), 1-20.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115374>
- Liang, Z., Jin, X., Zhai, P., Zhao, Y., Cai, J., Li, S., Yang, S., Li, C., & Li, C. (2022). A Combination of Organic and Slow-Release Fertilizers Increases Pineapple Yields and Agronomic Efficiency While Reducing Greenhouse Gas Emissions Under Reduced Fertilization Conditions in Tropical Areas. *Journal of Cleaner Production*, 343(1), 1-20.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131054>
- Liu, M., Song, F., Yin, Z., Chen, P., Zhang, Z., Qi, Z., Wang, B., & Zheng, E. (2023). Substituting Organic Fertilizers Maintains Maize Yield and Mitigates Ammonia Emissions but Increases Nitrous Oxide Emissions. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(1), 53115–53127.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-023-25666-6>
- Louro, A., Báez, D., García, M. I., & Cárdenas, L. (2015). Nitrous Oxide Emissions from Forage Maize Production on a Humic Cambisol Fertilized with Mineral Fertilizer or Slurries in Galicia, Spain. *Geoderma Regional*, 5(1), 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.03.004>
- Lv, F., Song, J., Giltrap, D., Feng, Y., Yang, X., & Zhang, S. (2020). Crop Yield and N<sub>2</sub>O Emission Affected by Long-Term Organic Manure Substitution for Fertilizer Under Winter Wheat-Summer Maize Cropping System. *Science of the Total Environment*, 732(1), 1-20.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139321>
- Lv, J., Yin, X., Dorich, C., Olave, R., Wang, X., Kou, C., & Song, X. (2021). Net Field Global Warming Potential and Greenhouse Gas Intensity in Typical Arid Cropping Systems of China: A 3-Year Field Measurement from Long-Term Fertilizer Experiments. *Soil and Tillage Research*, 212(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105053>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Antes, G., Atkins, D., Barbour, V., Barrowman, N., Berlin, J. A., Clark, J., Clarke, M., Cook, D., D'Amico, R., Deeks, J. J., Devereaux, P. J., Dickersin, K., Egger, M., Ernst, E., Gøtzsche, P. C., & Tugwell, P. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7), 1-6.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews. *BMJ*, 372(1), 1-9.  
<https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Petersen, S. O., Peixoto, L. E. K., Sorensen, H., Tariq, A., Brændholt, A., Hansen, L. V., Abalos, D., Christensen, A. T., Nielsen, C. S., Pullens, J. W. M., Bruun, S., Jensen, L. S., & Olesen, J. E. (2023). Higher N<sub>2</sub>O Emissions from Organic Compared to Synthetic N Fertilisers on Sandy Soils in a



- Cool Temperate Climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 358(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108718>
- Qin, X., Lu, Y., Wan, Y., Wang, B., Nie, J., Li, Y., & Liao, Y. (2023). Rice Straw Application Marginally Improves Yield and Increases the Carbon Footprint of Double-Cropping Paddy Rice (*Oryza sativa* L.). *Field Crops Research*, 291(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108796>
- Shah, A., Huang, J., Han, T., Khan, M. N., Tadesse, K. A., Daba, N. A., Khan, S., Ullah, S., Sardar, M. F., Fahad, S., & Zhang, H. (2024). Impact of Soil Moisture Regimes on Greenhouse Gas Emissions, Soil Microbial Biomass, and Enzymatic Activity in Long-Term Fertilized Paddy Soil. *Environmental Sciences Europe*, 36(1), 1-20. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00943-4>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software Survey: Vosviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- World Meteorological Organization. (2024). Retrieved April 10, 2026, from WMO Interactwebsite: <https://wmo.int/topics/greenhouse-gases>
- Yin, C., Fan, X., Yan, G., Chen, H., Ye, M., Ni, L., Peng, H., Ran, W., Zhao, Y., Li, T., Wakelin, S. A., & Liang, Y. (2020). Gross N<sub>2</sub>O Production Process, not Consumption, Determines The Temperature Sensitivity of Net N<sub>2</sub>O Emission in Arable Soil Subject to Different Long-Term Fertilization Practices. *Frontiers in Microbiology*, 11(1), 1-14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00745>
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>