Jurnal Esabi (Jurnal Edukasi dan Sains Biologi) ISSN 2620-584X
Vol. 7(2) 2025: 127 – 141
https://esabi.bunghatta.ac.id
esabijurnal@bunghatta.ac.id

Kajian pustaka: Keanekaragaman burung sebagai bioindikator polusi udara di area Perkotaan

Dhiya Izzatunnisa [1]; Lula Kamilia Az-Zahra [2]; Hertien Koosbandiah Surtikanti [3,*]
Biologi, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia
[1] dhiya_izzatunnisa@upi.edu; [2] lulakamilia3005@upi.edu;
[3] hertien_surtikanti@yahoo.com
* Penulis koresponden

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel
Dikirim
26 April 2025
Revisi
7 Agustus 2025
Diterima
25 Agustus 2025

Kata kunci
Bioindikator
Ekosistem perkotaan
Keanekaragaman burung
Polusi udara

ABSTRAK

Penelitian ini membahas keanekaragaman burung sebagai bioindikator polusi udara di area perkotaan. Polusi udara menjadi masalah lingkungan yang semakin mengkhawatirkan, terutama di kota-kota besar, yang berdampak negatif pada kesehatan manusia dan ekosistem. Burung, sebagai komponen penting dalam ekosistem, dapat berfungsi sebagai indikator perubahan kualitas udara karena kepekaannya terhadap polusi. Tujuan dari kajian pustaka ini adalah untuk mengidentifikasi hubungan antara keanekaragaman burung dan tingkat polusi udara di lingkungan perkotaan. Beberapa studi terdahulu mengungkapkan bahwa spesies burung tertentu cenderung menghindari area dengan kualitas udara buruk, sementara spesies lainnya dapat bertahan meski dalam kondisi polusi tinggi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kajian literatur, yang menganalisis hasil penelitian terkait peran burung dalam memantau polusi udara. Analisis ini melibatkan evaluasi data ekologi burung dan kualitas udara di beberapa kota besar di dunia. Hasil kajian menunjukkan bahwa burung dapat memberikan informasi penting mengenai kondisi lingkungan perkotaan, terutama terkait dengan konsentrasi polutan seperti PM2.5 dan NOx. Temuan ini menegaskan pentingnya pemanfaatan keanekaragaman burung sebagai indikator lingkungan yang efektif dan terjangkau. Sebagai kesimpulan, penelitian ini menyarankan agar keberagaman spesies burung dapat dijadikan salah satu indikator dalam pemantauan kualitas udara perkotaan, sehingga dapat membantu upaya mitigasi polusi udara yang lebih efektif.

Keywords:
Bioindicators
Urban ecosystems
Bird diversity
Air pollution

ABSTRACT

Literature review: Bird diversity as a bioindicator of air pollution in urban areas. *This study discusses bird diversity as a bioindicator of air pollution in urban areas. Air pollution is becoming an increasingly alarming environmental problem, especially in large cities, which has a negative impact on human health and ecosystems. Birds, as an important component of the ecosystem, can serve as indicators of changes in air quality due to their sensitivity to pollution. The objective of this literature review is to identify the relationship between bird diversity and air pollution levels in urban environments. Previous studies have revealed that certain bird species tend to avoid areas with poor air quality, while others can survive even in highly polluted conditions. The method used in this study is a literature review, which analyzes research findings related to the role of birds in monitoring air pollution. This analysis involved evaluating bird ecology and air quality data in several major cities around the world. The results of the study show that birds can provide important information about urban environmental conditions, particularly regarding pollutant concentrations such as PM2.5 and NOx. These findings emphasize the importance of utilizing bird diversity as an effective and affordable environmental indicator. In conclusion, this study suggests that bird species diversity can be used as one of the indicators in urban air quality monitoring, thereby aiding more effective air pollution mitigation efforts.*

© 2025 The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License, CC-BY-4.0, which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Pendahuluan

Polusi udara telah menjadi masalah lingkungan yang semakin mengkhawatirkan, terutama di kota-kota besar yang mengalami urbanisasi pesat. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor, kegiatan industri, dan berkurangnya ruang terbuka hijau turut memperburuk kualitas udara di wilayah perkotaan. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada kesehatan manusia, seperti meningkatnya kasus penyakit pernapasan dan kardiovaskular, tetapi juga berpengaruh pada keseimbangan ekosistem secara keseluruhan. Kualitas udara yang buruk menimbulkan tekanan ekologis terhadap flora dan fauna, termasuk burung yang hidup di wilayah urban.

Keanekaragaman hayati yang ada di kawasan perkotaan, khususnya burung, memiliki potensi sebagai bioindikator dalam memantau perubahan lingkungan, termasuk kualitas udara. Burung dikenal sebagai organisme yang sangat sensitif terhadap perubahan ekosistem karena keterkaitan langsungnya dengan vegetasi, sumber makanan, dan kondisi udara. Oleh karena itu, perubahan jumlah maupun perilaku burung dapat menjadi sinyal awal terhadap penurunan kualitas lingkungan di suatu kawasan.

Burung dapat menunjukkan respons ekologis yang nyata terhadap polusi, baik dalam bentuk migrasi, penurunan populasi, maupun perubahan fisiologis.

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa burung dapat merespons langsung terhadap tingkat pencemaran udara. Misalnya, spesies seperti Eurasian tree sparrow menunjukkan perubahan biologis seperti penurunan kadar antioksidan tubuh sebagai reaksi terhadap paparan polutan seperti PM2.5 dan gas berbahaya lainnya (Li et al., 2021). Studi lain juga mengungkapkan bahwa keanekaragaman burung berkurang di daerah dengan tingkat polusi tinggi, dan beberapa spesies menjadi lebih rentan terhadap kerusakan lingkungan (Nababan et al., 2021). Selain itu, burung yang peka terhadap kualitas udara cenderung menghindari kawasan dengan polusi tinggi, sehingga distribusi burung dapat mencerminkan kondisi udara di suatu wilayah.

Penelitian lokal di Indonesia turut menguatkan temuan tersebut, seperti yang terlihat di Kawasan Pantai Indah Kapuk, Jakarta Utara. Aktivitas manusia yang tidak ramah lingkungan di kawasan tersebut terbukti memengaruhi populasi burung secara signifikan (Kusumahadi, 2020). Sementara itu, di Daerah Aliran Sungai Brantas, Kota Kediri, kawasan dengan vegetasi alami mampu mempertahankan keragaman burung yang lebih tinggi dibandingkan area yang minim tutupan hijau (Astasagita et al., 2024). Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan vegetasi mampu mengurangi dampak polusi udara terhadap satwa liar. Namun demikian, ruang hijau saja tidak cukup menyeimbangkan laju pencemaran udara akibat urbanisasi dan industrialisasi.

Beberapa studi juga menekankan pentingnya perbandingan antara kawasan urban dan rural dalam memahami dampak polusi udara terhadap keanekaragaman burung. Penelitian di Kecamatan Boyolali, misalnya, menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam jumlah spesies burung antara wilayah yang tercemar dan yang masih relatif alami (Fitriyanti et al., 2024). Selain itu, pandangan ekologis menyebutkan bahwa burung dapat memberikan isyarat awal terhadap perubahan lingkungan, termasuk terhadap potensi kerusakan jangka panjang (Yoza et al., 2019). Dengan demikian, burung memiliki fungsi penting tidak hanya sebagai bagian dari keanekaragaman hayati, tetapi juga sebagai alat pemantauan kualitas lingkungan.

Kerangka teoretis dalam kajian ini didasarkan pada konsep bioindikator, yaitu penggunaan organisme hidup untuk menilai kualitas suatu lingkungan sebagai respons terhadap faktor pencemar tertentu. Teori ini mencakup pendekatan ekologi yang menjelaskan hubungan erat antara organisme dan lingkungannya, serta bagaimana makhluk hidup menyesuaikan diri atau terpengaruh oleh perubahan tersebut. Dalam konteks polusi udara, burung menjadi salah satu kelompok fauna yang potensial digunakan untuk merepresentasikan kondisi lingkungan suatu wilayah. Namun, pemanfaatan burung sebagai bioindikator polusi udara masih belum banyak digunakan secara sistematis, terutama di kawasan perkotaan dengan karakteristik ekosistem yang kompleks (Widodo, 2013).

Walaupun banyak studi telah mengulas hubungan antara burung dan polusi udara, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam penerapan burung sebagai indikator ekologis di wilayah perkotaan secara lebih luas. Hal ini menandakan perlunya pendekatan yang lebih menyeluruh dan berbasis data jangka panjang untuk memahami korelasi antara kualitas udara dan keanekaragaman burung secara akurat. Penelitian-penelitian terdahulu cenderung bersifat terbatas secara spasial dan temporal, sehingga belum mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai potensi burung sebagai indikator kualitas udara di berbagai jenis kota. Kesenjangan inilah yang coba diisi melalui kajian literatur dalam penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi peran burung sebagai bioindikator polusi udara di area perkotaan. Kajian ini difokuskan pada studi literatur yang relevan guna memahami bagaimana keanekaragaman burung dapat dijadikan alat pemantauan lingkungan yang efektif, terutama dalam mengidentifikasi tingkat pencemaran udara. Dengan mengkaji berbagai penelitian sebelumnya, diharapkan hasil studi ini dapat memperkaya pemahaman tentang hubungan antara burung dan kualitas udara serta mendukung pengembangan sistem pemantauan lingkungan berbasis indikator biologis di wilayah urban.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kajian pustaka sistematis (*Systematic Literature Review*, SLR) untuk mengeksplorasi peran keanekaragaman burung sebagai bioindikator polusi udara di area perkotaan. Metode ini dipilih karena kemampuannya untuk secara terstruktur mengidentifikasi, menyeleksi, mengevaluasi, dan mensintesis hasil-hasil penelitian sebelumnya dengan transparansi yang tinggi. Kajian pustaka sistematis diimplementasikan berdasarkan protokol PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan keterlacakan dalam kajian literatur ilmiah. Kajian pustaka ini bertujuan untuk menganalisis dan menyusun informasi yang relevan melalui pertanyaan penelitian (*Research Question*) mengenai hubungan antara keanekaragaman burung dan polusi udara, serta penggunaan burung sebagai bioindikator kualitas udara di lingkungan perkotaan (Tabel 1).

Tabel 1. Research question SLR

Research Question	**Penjelasan**
RQ 1: Apa hubungan antara keanekaragaman burung dan kualitas udara di area perkotaan?	Menjelaskan bagaimana keanekaragaman spesies burung dapat mencerminkan tingkat polusi udara di kawasan perkotaan.
RQ 2: Bagaimana burung dapat digunakan sebagai bioindikator untuk mengukur tingkat polusi udara di daerah perkotaan?	Menganalisis peran burung dalam mengindikasikan polusi udara, termasuk spesies yang rentan terhadap perubahan kualitas udara.
RQ 3: Apa saja spesies burung yang paling sensitif terhadap polusi udara di lingkungan perkotaan?	Mengidentifikasi spesies burung yang paling terpengaruh oleh polusi udara dan dapat menjadi indikator yang efektif.

Proses pengambilan data dilakukan dengan pencarian artikel melalui mesin pencari akademik seperti *Google Scholar*, ScienceDirect, PubMed, dan Scopus. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian mencakup "*urban air pollution*", "*bird diversity*", "*avian bioindicators*", "*air quality indicator species*", serta variasinya menggunakan operator Boolean seperti AND dan OR untuk memperluas jangkauan pencarian. Artikel yang terpilih dalam penelitian ini mencakup sumber-sumber teoritis yang membahas dampak polusi udara terhadap keanekaragaman burung di area perkotaan dan peran burung sebagai bioindikator kualitas udara, berdasarkan kredibilitas dan relevansinya dengan topik penelitian.

Lokasi penelitian ini merujuk pada studi-studi yang dilakukan di kota-kota besar dengan tingkat polusi udara yang beragam, dengan periode publikasi yang mencakup tahun 2012 hingga 2021. Hal ini dilakukan untuk memastikan kajian ini mencakup temuan-temuan terbaru yang relevan dengan topik penelitian. Populasi yang diteliti adalah literatur ilmiah yang membahas hubungan antara keanekaragaman burung dan polusi udara di lingkungan perkotaan, yang terdiri dari artikel-artikel ilmiah, prosiding

konferensi, dan laporan penelitian. Sampel dipilih menggunakan teknik purposive sampling, dengan artikel yang memenuhi kriteria relevansi terhadap tujuan penelitian, khususnya yang membahas dampak polutan udara seperti PM2.5, CO2, dan NOx terhadap keanekaragaman burung di wilayah urban (Tabel 2).

Tabel 2. Analisis dampak lingkungan melalui monitoring berkelanjutan

Metode	Dampak Jangka Pendek	Dampak Jangka Panjang	Tingkat Keberlanjutan
Pengamatan Keanekaragaman Burung	Penurunan jumlah spesies burung yang peka terhadap polusi udara, perubahan perilaku makan dan reproduksi burung di area yang tercemar udara.	Pengurangan populasi burung yang terus berlangsung, hilangnya spesies endemik atau langka, serta perubahan permanen dalam komposisi komunitas burung.	Dampak jangka panjang berpotensi tidak berkelanjutan jika kualitas udara tidak ditangani dengan baik.
Pemantauan Kualitas Udara dan Burung	Penurunan kesehatan burung akibat paparan langsung terhadap polusi udara, penurunan angka kelangsungan hidup pada spesies tertentu.	Gangguan jangka panjang pada ekosistem yang lebih luas, dengan efek domino pada rantai makanan dan keseimbangan alam.	Pemantauan yang berkelanjutan dapat membantu dalam mengurangi dampak buruk polusi udara dan meningkatkan keberlanjutan ekosistem.
Pemetaan dan Analisis Habitat	Kerusakan habitat sementara, seperti penurunan kualitas tempat bertelur atau migrasi burung ke tempat yang lebih bersih.	Perubahan ekosistem yang berkelanjutan, termasuk degradasi habitat secara permanen.	Keberlanjutan habitat tergantung pada upaya restorasi lingkungan dan pengurangan polusi udara di jangka panjang.

Tabel 3. Matriks kesesuaian metode dengan kondisi lingkungan

Metode	Kondisi Lingkungan (Polusi Udara Rendah)	Kondisi Lingkungan (Polusi Udara Sedang)	Kondisi Lingkungan (Polusi Udara Tinggi)
Pengamatan Keanekaragaman Burung	Keanekaragaman burung tetap stabil, dengan banyak spesies yang berkembang di area yang bersih.	Terjadi penurunan spesies burung yang sensitif terhadap polusi udara, namun beberapa spesies masih dapat bertahan.	Penurunan drastis pada jumlah dan keanekaragaman burung, hanya spesies yang sangat toleran terhadap polusi yang dapat bertahan.
Pemantauan Kualitas Udara dan Burung	Tidak banyak perubahan pada kesehatan burung, dengan kualitas udara yang relatif baik.	Dampak moderat pada kesehatan burung, dengan beberapa spesies menunjukkan gejala stres akibat kualitas udara yang menurun.	Dampak serius pada kesehatan burung, dengan penurunan tingkat kelangsungan hidup dan masalah kesehatan yang signifikan.
Pemetaan dan Analisis Habitat	Habitat burung tetap utuh dan dapat mendukung kelangsungan hidup mereka, dengan kualitas udara yang baik.	Kerusakan habitat mulai terjadi, seperti penurunan kualitas tempat bertelur atau migrasi burung ke tempat yang lebih bersih.	Degradasi habitat yang parah, dengan banyak burung yang terpaksa meninggalkan area atau tidak dapat berkembang biak di tempat tersebut.

Variabel yang dianalisis dalam penelitian ini adalah keanekaragaman burung, yang diukur berdasarkan jumlah dan jenis spesies burung yang ditemukan di wilayah perkotaan dengan tingkat polusi udara tertentu, serta polusi udara itu sendiri, yang mencakup konsentrasi polutan utama seperti PM2.5, NOx, dan CO2 (Tabel 3). Data mengenai polusi udara diperoleh dari hasil pengukuran yang tercatat dalam studi-studi yang terpilih, sementara data mengenai keanekaragaman burung diperoleh dari penelitian lapangan yang tercantum dalam artikel dan jurnal ilmiah.

Tabel 4. Sintesis hasil penelitian terdahulu

Tahun	Peneliti	Metode yang Diteliti	Temuan Utama	Rekomendasi
2013	Widodo, W.	Kajian fauna burung sebagai indikator lingkungan di hutan Gunung Sawal, Ciamis	Burung sebagai indikator kualitas udara di hutan tropis, dengan dampak signifikan pada spesies sensitif.	Mengembangkan lebih banyak penelitian tentang spesies burung yang dapat digunakan sebagai indikator kualitas udara di kawasan perkotaan.
2021	Nababan, B. R. R., Harianto, S. P., & Setiawan, A.	Diversitas burung di ruang terbuka hijau di Universitas Lampung	Keanekaragaman burung menunjukkan korelasi positif dengan kualitas ruang terbuka hijau dan udara yang bersih.	Meningkatkan pengelolaan ruang terbuka hijau dan menjaga kualitas udara sebagai upaya konservasi burung.
2021	Li, M., Nabi, G., Sun, Y., Wang, Y., Wang, L., Jiang, C., & Li, D.	Pengaruh polusi udara terhadap burung di perkotaan	Polusi udara mengurangi kemampuan burung dalam bertahan hidup dan berbiak, serta mempengaruhi kesehatan mereka.	Pengurangan polusi udara dan penerapan kebijakan konservasi untuk meningkatkan kualitas habitat burung di daerah perkotaan.
2012	Widodo, F. A.	Keanekaragaman jenis burung di perkotaan Kabupaten Kudus	Keanekaragaman jenis burung lebih tinggi di kawasan dengan kualitas udara yang lebih baik.	Pentingnya peningkatan kualitas udara dan penghijauan perkotaan untuk mempertahankan keberagaman burung dan ekosistemnya.
2021	Bhowmick, S. R.	Penilaian biodiversitas burung sebagai bioindikator polusi udara	Burung yang sensitif terhadap polusi udara menunjukkan penurunan populasi di daerah dengan tingkat polusi tinggi.	Rekomendasi untuk meningkatkan pemantauan kualitas udara dengan menggunakan burung sebagai indikator utama dalam pengelolaan polusi udara perkotaan.

Seleksi literatur dilakukan melalui beberapa tahap, dimulai dengan penyaringan artikel berdasarkan judul dan abstrak untuk memastikan relevansi dengan topik kajian. Artikel yang lolos pada tahap penyaringan awal kemudian dibaca secara menyeluruh untuk mengevaluasi kriteria inklusi, dan akhirnya, artikel yang memenuhi seluruh kriteria dianalisis lebih mendalam. Proses seleksi ini digambarkan dalam diagram alur PRISMA yang menunjukkan jumlah artikel pada setiap tahap seleksi, dari identifikasi hingga inklusi akhir.

Data yang diperoleh dari artikel terpilih dianalisis secara kualitatif menggunakan pendekatan tematik. Data disusun dalam bentuk matriks, yang diklasifikasikan berdasarkan topik utama dan indikator yang digunakan dalam masing-masing studi, seperti indeks keanekaragaman spesies burung, tingkat paparan polutan, serta perubahan perilaku atau fisiologi burung. Data ini kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi tren umum, perbedaan signifikan, serta keterkaitan antara variabel polusi udara dan keanekaragaman burung. Hasil analisis disusun secara naratif dan dibandingkan untuk melihat konsistensi temuan antar studi (Tabel 4), yang bertujuan untuk membangun pemahaman yang lebih mendalam mengenai peran burung sebagai bioindikator kualitas udara di perkotaan.

Hasil dan pembahasan

Berdasarkan hasil kajian pustaka, keberagaman spesies burung di area perkotaan terbukti memiliki korelasi yang signifikan dengan kualitas udara. Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa burung, sebagai organisme yang terpapar langsung oleh kondisi udara, dapat berfungsi sebagai bioindikator yang efektif dalam memantau tingkat polusi udara di lingkungan perkotaan. Sebagai contoh, studi Widodo (2012) yang mengkaji keberagaman burung di Kabupaten Kudus menunjukkan bahwa jenis burung yang terdapat di daerah dengan kualitas udara baik memiliki keberagaman yang lebih tinggi, dibandingkan dengan daerah yang terpapar polusi udara tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa burung yang sensitif terhadap perubahan lingkungan, termasuk kualitas udara, dapat memberi petunjuk langsung mengenai kondisi polusi di sebuah kawasan perkotaan.

Keanekaragaman burung di kawasan perkotaan sangat bergantung pada ketersediaan habitat yang mendukung (Hutami et al., 2022). Ruang hijau seperti taman kota dan kawasan konservasi memberikan perlindungan bagi burung untuk berkembang biak dan mencari makan. Studi oleh Nurhasan dan Damayanti (2021) mengungkapkan bahwa taman kota yang dirancang dengan baik dapat meningkatkan keberagaman burung hingga 30%. Penurunan keanekaragaman terjadi ketika kawasan hijau di perkotaan tergantikan oleh infrastruktur yang tidak mendukung habitat burung. Namun, burung tertentu yang lebih toleran terhadap gangguan manusia, seperti burung gereja (*Passer domesticus*), cenderung mendominasi kawasan perkotaan (Tabel 5). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun burung masih dapat ditemukan di lingkungan urban, keanekaragamannya berkurang karena hanya spesies tertentu yang mampu bertahan. Sebagai contoh, kawasan tanpa vegetasi alami menunjukkan penurunan drastis dalam jumlah spesies burung yang terdeteksi (Kusumahadi, 2020).

Tingginya tingkat polusi udara di kota besar juga berdampak pada aktivitas burung. Beberapa spesies mengalami penurunan populasi karena keracunan logam berat yang terkandung dalam udara. Studi oleh Fitriyanti et al. (2024) di Kecamatan Boyolali menunjukkan bahwa spesies burung di wilayah urban lebih sedikit dibandingkan rural, mencerminkan dampak lingkungan perkotaan terhadap biodiversitas burung. Selain itu, upaya mitigasi seperti penanaman pohon dan pengelolaan ruang hijau dapat memperbaiki kondisi lingkungan. Sebagaimana diungkapkan oleh Nurhasan dan Damayanti (2021), perencanaan ruang kota yang memprioritaskan fungsi ekologis dapat meningkatkan kualitas udara dan keberlanjutan populasi burung di perkotaan.

Tabel 5. Jumlah spesies burung di kawasan perkotaan berdasarkan ketersediaan habitat

Jenis habitat	Jumlah spesies	Contoh spesies dominan
Taman kota	15	*Passer domesticus* (Burung Gereja)
Kawasan perumahan	10	*Pycnonotus aurigaster* (Cucak Kutilang)
Kawasan industry	5	*Lonchura punctulata* (Bondol Peking)
Pinggiran kota	20	*Copsychus saularis* (Kacer)

Sumber: Nurhasan & Damayanti (2021)

Penelitian oleh Bhowmick (2021) juga memperlihatkan bahwa burung yang sensitif terhadap polusi udara, seperti spesies yang tergantung pada kualitas vegetasi dan udara yang bersih, mengalami penurunan jumlah populasi di daerah dengan tingkat polusi tinggi. Penurunan ini terjadi karena polusi udara tidak hanya mempengaruhi kesehatan burung secara langsung, tetapi juga mempengaruhi ketersediaan sumber daya alam yang mereka butuhkan, seperti makanan dan tempat berlindung. Hal ini memperkuat hipotesis bahwa spesies burung tertentu, yang sangat sensitif terhadap kualitas udara, dapat dijadikan sebagai indikator penting dalam pemantauan polusi udara di perkotaan.

Metode Penelitian Burung sebagai Bioindikator

Metode yang digunakan dalam kajian pustaka ini mengacu pada penggunaan keanekaragaman spesies burung sebagai indikator kualitas udara. Berdasarkan temuan dari penelitian Widodo (2013) di kawasan hutan Gunung Sawal, serta penelitian Li et al. (2021) yang menyelidiki dampak polusi udara terhadap burung di perkotaan, dapat disimpulkan bahwa keberagaman spesies burung dapat memberikan informasi yang cukup akurat mengenai kondisi polusi udara. Metode ini memanfaatkan pengamatan langsung terhadap populasi burung yang ada, serta pengukuran kualitas udara melalui parameter seperti konsentrasi partikel PM10 dan PM2.5 yang berhubungan erat dengan dampak polusi udara terhadap organisme. Dengan demikian, burung yang hidup di area dengan polusi tinggi akan menunjukkan penurunan populasi atau bahkan migrasi, yang dapat diukur dan digunakan untuk menilai kualitas udara di suatu daerah perkotaan.

Burung merupakan salah satu bioindikator yang efektif untuk mendeteksi tingkat polusi udara di kawasan perkotaan. Polusi udara dapat memengaruhi sistem pernapasan burung, sehingga burung yang sensitif terhadap kualitas udara sering kali menjadi indikator awal dari kerusakan lingkungan. Yoza et al. (2019) menyatakan bahwa burung memiliki kemampuan mendeteksi perubahan kualitas udara melalui adaptasi perilaku seperti migrasi atau perubahan pola makan. Sebagai contoh, di kawasan dengan tingkat polusi tinggi, populasi burung pemakan serangga cenderung menurun drastis. Hal ini disebabkan oleh akumulasi logam berat dalam tubuh serangga yang dimakan burung. Di sisi lain, burung pemakan biji seperti pipit masih mampu bertahan di kawasan dengan tingkat polusi sedang (Fitriyanti et al., 2024). Fenomena ini menunjukkan hubungan langsung antara kondisi lingkungan dengan distribusi spesies burung.

Keberadaan burung juga dapat digunakan untuk memetakan kualitas udara secara geografis. Studi di bantaran Sungai Brantas, Kediri, mengungkapkan bahwa keanekaragaman burung cenderung lebih tinggi di kawasan dengan vegetasi alami dibandingkan kawasan tanpa vegetasi (Astasagita et al., 2024). Penelitian ini menunjukkan bahwa burung tidak hanya menjadi indikator kualitas udara, tetapi juga kondisi habitat secara keseluruhan. Dengan demikian, burung memainkan peran penting dalam mengidentifikasi kerusakan lingkungan akibat polusi udara. Sebagai bioindikator, burung dapat membantu pemerintah dan masyarakat memahami urgensi pengelolaan kualitas udara di kawasan perkotaan (Yoza et al., 2019). Penelitian tentang burung sebagai bioindikator polusi udara di kawasan perkotaan terus berkembang melalui

pendekatan yang semakin canggih. Salah satu metode yang semakin populer adalah pemanfaatan teknologi akustik pasif yang memungkinkan pemantauan keanekaragaman burung secara non-invasif dalam jangka waktu yang lama. Tan et al. (2024) menjelaskan bahwa teknologi ini efektif diterapkan di ruang hijau perkotaan seperti Taman Chunshen di Shanghai, dengan hasil yang akurat dalam mendeteksi variasi jenis burung berdasarkan suara kicauan.

Selain metode akustik, pendekatan pemantauan vertikal dalam ruang perkotaan juga penting untuk dipertimbangkan. Re et al. (2024) meneliti bagaimana burung memanfaatkan ruang secara vertikal di kota-kota besar, yang selama ini jarang dijadikan objek kajian. Studi ini menunjukkan bahwa metode observasi vertikal dapat memperluas cakupan deteksi spesies dan menjadi indikator lingkungan perkotaan yang kompleks, khususnya dalam konteks polusi udara yang tidak merata pada setiap lapisan atmosfer. Studi-studi lainnya juga menekankan pentingnya pemantauan dengan parameter ekologis, seperti keragaman musiman dan perilaku harian burung. Luna dan Blanch (2024) menggunakan observasi langsung pada atap hijau dan mencatat perubahan perilaku burung terhadap kondisi udara dan vegetasi, mengindikasikan bahwa burung dapat menjadi indikator yang responsif terhadap perubahan kualitas lingkungan. Keseluruhan metode ini menegaskan bahwa studi burung sebagai bioindikator harus menggabungkan pendekatan multidimensional baik teknologi, spasial, maupun temporal untuk memperoleh hasil yang representatif.

Pengaruh Ruang Hijau terhadap Keanekaragaman Burung

Ruang hijau perkotaan menjadi elemen kunci dalam mendukung keberlanjutan populasi burung. Menurut Nurhasan dan Damayanti (2021), taman kota yang dikelola dengan baik mampu menjadi habitat alternatif bagi burung yang kehilangan tempat tinggal akibat urbanisasi. Penelitian di Jakarta Utara menunjukkan bahwa kawasan dengan vegetasi hijau yang terjaga memiliki lebih banyak spesies burung dibandingkan kawasan tanpa vegetasi (Kusumahadi, 2020). Namun, tantangan dalam pengelolaan ruang hijau sering kali berkaitan dengan keterbatasan lahan di perkotaan. Perluasan infrastruktur cenderung mengurangi area ruang hijau, sehingga habitat burung semakin menyempit. Sebagai solusi, Astasagita et al. (2024) mengusulkan konsep koridor hijau yang menghubungkan taman kota dengan kawasan konservasi di pinggiran kota. Konsep ini memungkinkan burung untuk bermigrasi dengan lebih aman.

Keberadaan ruang hijau di wilayah urban memiliki pengaruh besar terhadap keanekaragaman burung yang menghuni kawasan tersebut. La Sorte et al. (2020) menunjukkan bahwa luas ruang hijau merupakan faktor utama yang memengaruhi pola keanekaragaman spesies burung sepanjang tahun. Dalam studi mereka, kota-kota dengan area hijau lebih luas memiliki kekayaan spesies yang lebih tinggi, menunjukkan pentingnya mempertahankan dan memperluas area hijau di tengah urbanisasi. Tak hanya luas, desain ruang hijau juga memengaruhi komunitas burung yang hadir. Prihandi dan Nurvianto (2022) menekankan bahwa elemen struktural seperti vegetasi bertingkat, penyediaan air, dan konektivitas antar taman kota sangat menentukan sejauh mana ruang tersebut mampu mendukung keanekaragaman burung. Tanaman asli dan kanopi pohon yang rapat, misalnya, terbukti menarik lebih banyak spesies burung dan menyediakan tempat berlindung yang baik dari paparan langsung polusi udara.

Tabel 6. Korelasi Ruang Hijau dan Keanekaragaman Burung

Jumlah Ruang Hijau (%)	Jumlah Spesies Burung	Dominasi Spesies Tertentu
<10%	10	*Passer domesticus* (Burung Gereja)
10–20%	20	*Pycnonotus aurigaster* (Cucak Kutilang)
>20%	35	*Copsychus saularis* (Kacer)

Sumber: Astasagita et al. (2024)

Selain itu, keberadaan pohon dengan jenis tertentu juga berkontribusi terhadap keberagaman burung. Fitriyanti et al. (2024) menunjukkan bahwa pohon berbunga menarik lebih banyak spesies burung pemakan nektar, sementara pohon berbuah menarik burung pemakan buah. Dengan demikian, pemilihan jenis tanaman di ruang hijau menjadi penting untuk meningkatkan keanekaragaman burung. Peningkatan ruang hijau tidak hanya bermanfaat bagi burung, tetapi juga bagi manusia. Selain memperbaiki kualitas udara, ruang hijau dapat mengurangi stres masyarakat perkotaan dan meningkatkan estetika lingkungan. Hal ini sejalan dengan rekomendasi Nurhasan dan Damayanti (2021) untuk mengintegrasikan fungsi ekologis ke dalam perencanaan tata ruang kota.

Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan Burung

Polusi udara memiliki dampak langsung terhadap kesehatan burung, terutama pada sistem pernapasan dan reproduksi. Burung yang terpapar polusi udara kronis sering kali menunjukkan gejala seperti sesak napas dan perubahan perilaku (Yoza et al., 2019). Studi di Jakarta Utara menemukan bahwa burung di kawasan dengan polusi tinggi memiliki kadar logam berat yang lebih tinggi dalam tubuh mereka dibandingkan burung di kawasan dengan udara bersih (Kusumahadi, 2020). Polutan seperti karbon monoksida dan partikel debu juga dapat memengaruhi kemampuan burung untuk berkembang biak. Penelitian di Kecamatan Boyolali menunjukkan bahwa spesies burung di kawasan dengan polusi tinggi cenderung memiliki tingkat keberhasilan reproduksi yang lebih rendah (Fitriyanti et al., 2024). Hal ini mengindikasikan bahwa polusi udara tidak hanya berdampak pada populasi saat ini, tetapi juga pada keberlanjutan spesies di masa depan.

Tabel 7. Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan Burung di Perkotaan

Parameter Kesehatan	Tingkat Polusi Rendah	Tingkat Polusi Tinggi
Fungsi Pernapasan	Normal	Terganggu
Reproduksi	Stabil	Menurun
Kadar Logam Berat (ppm)	<1	>5
Perilaku Migrasi	Jarang	Sering

Sumber: Yoza et al. (2019)

Dampak lain dari polusi udara adalah meningkatnya migrasi burung dari kawasan urban ke kawasan rural. Burung cenderung mencari habitat yang lebih aman dengan kualitas udara yang lebih baik. Fenomena ini terlihat di bantaran Sungai Brantas, di mana banyak spesies burung bermigrasi ke kawasan vegetasi alami (Astasagita et al., 2024). Upaya untuk mengurangi dampak polusi udara terhadap burung dapat dilakukan melalui pengendalian emisi kendaraan bermotor dan peningkatan jumlah ruang hijau di perkotaan. Pemerintah dan masyarakat perlu bekerja sama untuk menciptakan lingkungan yang lebih sehat bagi burung dan manusia (Yoza et al., 2019).

Paparan polusi udara di kawasan perkotaan tidak hanya berdampak pada manusia, tetapi juga memengaruhi kesehatan fisiologis dan perilaku burung. Luna dan Blanch (2024) mencatat bahwa burung yang tinggal di wilayah dengan kualitas udara buruk

menunjukkan perubahan perilaku, seperti mengurangi aktivitas terbang dan waktu foraging. Hal ini mencerminkan respons stres terhadap paparan polutan yang bersifat kronis seperti NOx dan PM2.5. Sander dan Tietze (2022) melakukan tinjauan pustaka mengenai dampak infrastruktur transportasi terhadap komunitas burung dan menemukan bahwa polusi udara dari kendaraan bermotor merupakan salah satu faktor utama penyebab penurunan populasi dan migrasi burung dari area tertentu. Efek dari polusi tersebut bisa bersifat langsung, seperti gangguan pada sistem pernapasan, maupun tidak langsung melalui degradasi habitat akibat emisi dan suara bising yang menyertai.

De Groot et al. (2021) juga menunjukkan bahwa tingkat polusi udara yang tinggi berkorelasi negatif dengan keanekaragaman burung di kota-kota Eropa Tenggara. Hasil studi mereka menunjukkan bahwa spesies burung yang lebih sensitif terhadap polutan cenderung menghindari daerah dengan kualitas udara buruk. Kondisi ini menjadikan burung sebagai indikator biologis yang andal, karena perubahan dalam komposisi komunitas burung dapat mencerminkan perubahan kualitas udara secara keseluruhan di suatu kawasan.

Strategi Konservasi Keanekaragaman Burung di Perkotaan

Strategi konservasi burung di kawasan perkotaan memerlukan pendekatan holistik yang melibatkan pemerintah, akademisi, dan masyarakat. Penelitian oleh Nurhasan dan Damayanti (2021) menunjukkan bahwa perencanaan kota yang mempertimbangkan kebutuhan ekosistem dapat mendukung keberlanjutan populasi burung. Salah satu strategi yang efektif adalah pembangunan taman kota dengan vegetasi yang bervariasi. Selain itu, perlindungan habitat alami di pinggiran kota menjadi penting untuk memberikan ruang bagi burung bermigrasi. Studi di Kecamatan Boyolali menunjukkan bahwa kawasan rural dengan vegetasi alami menjadi tempat perlindungan utama bagi banyak spesies burung yang terganggu oleh aktivitas urban (Fitriyanti et al., 2024). Strategi ini dapat dipadukan dengan edukasi masyarakat tentang pentingnya konservasi burung sebagai bioindikator lingkungan.

Upaya konservasi keanekaragaman burung di kawasan perkotaan menuntut pendekatan holistik yang tidak hanya berfokus pada pelestarian ruang hijau, tetapi juga mencakup mitigasi polusi dan perencanaan kota berkelanjutan. Prihandi dan Nurvianto (2022) menyarankan bahwa integrasi desain ekologis dalam pembangunan taman kota, seperti menyediakan vegetasi bertingkat dan area perairan kecil, sangat penting untuk mendukung habitat burung yang beragam. Penelitian menunjukkan bahwa kompleksitas struktur vegetasi dan keanekaragaman habitat dalam ruang hijau perkotaan secara signifikan berkontribusi terhadap peningkatan keragaman taksonomi, fungsional, dan filogenetik burung di lanskap urban, menjadikan desain vegetasi unsur krusial dalam perencanaan RTH (Peng et al., 2024). Studi lain juga menegaskan bahwa konektivitas dan heterogenitas ruang hijau memperkuat keterhubungan habitat, sehingga meningkatkan peluang bagi spesies burung untuk mencari makanan, berkembang biak, dan bermigrasi di tengah tekanan urbanisasi (Oropeza-Sánchez et al., 2024). Strategi ini dapat diterapkan pada skala kota secara sistematis untuk meningkatkan keberlangsungan hidup spesies burung.

Penerapan *green roof* (atap hijau) juga menjadi bagian dari strategi konservasi urban yang menjanjikan. Luna dan Blanch (2024) mengungkapkan bahwa atap hijau mampu menjadi habitat sekunder yang efektif, terutama bagi spesies burung yang mampu beradaptasi di lingkungan semi-alami. Atap hijau yang didesain dengan kompleksitas vegetasi tinggi terbukti menarik lebih banyak spesies dan dapat berfungsi sebagai koridor ekologis mini dalam kota. Oropeza-Sánchez et al. (2025) menekankan

bahwa konektivitas ruang hijau menjadi kunci utama dalam konservasi urban. Ruang hijau yang terhubung secara spasial memberikan peluang lebih besar bagi pergerakan, migrasi, dan penyebaran burung antar kawasan, sekaligus mengurangi tekanan ekologis akibat fragmentasi habitat.

Tabel 8. Strategi Konservasi untuk Meningkatkan Keanekaragaman Burung

Strategi Konservasi	Hasil yang Diharapkan
Penanaman pohon berbunga dan berbuah	Peningkatan jumlah burung pemakan nektar dan buah
Pembangunan koridor hijau	Penghubung habitat burung yang terfragmentasi
Perlindungan kawasan konservasi	Menjaga habitat alami untuk migrasi burung
Pengurangan emisi polusi udara	Kesehatan burung dan kualitas udara membaik

Sumber: Kusumahadi (2020)

Program penghijauan, seperti penanaman pohon berbunga dan berbuah, juga dapat meningkatkan populasi burung di kawasan urban. Astasagita et al. (2024) menyarankan integrasi koridor hijau untuk menghubungkan habitat burung yang terfragmentasi di perkotaan. Langkah ini tidak hanya meningkatkan keanekaragaman burung, tetapi juga membantu pengelolaan kualitas udara secara keseluruhan. Pendekatan infrastruktur hijau perkotaan yang terpadu, termasuk penambahan pohon, semak, dan vegetasi beragam, telah terbukti memperkuat konektivitas habitat serta menyediakan sumber pakan dan tempat bersarang bagi berbagai spesies burung di lanskap kota, sehingga mendukung layanan ekosistem yang lebih luas seperti mitigasi polusi dan penyerbukan (Wang et al., 2024). Selain itu, integrasi semak dan vegetasi kompleks dalam ruang publik telah dikaitkan dengan peningkatan keanekaragaman organisme termasuk fauna kecil seperti burung, karena struktur vegetasi yang rumit menyediakan berbagai mikrohabitat dan sumber daya ekologis (Sharmin et al., 2024). Melalui kolaborasi lintas sektor, konservasi keanekaragaman burung di perkotaan dapat dicapai. Dengan memahami peran burung sebagai bioindikator, masyarakat dapat lebih sadar akan pentingnya menjaga kualitas udara dan lingkungan perkotaan (Yoza et al., 2019).

Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Perbandingan hasil penelitian ini dengan studi terdahulu memperlihatkan konsistensi temuan bahwa polusi udara memiliki dampak negatif terhadap spesies burung yang sensitif. Sebagai contoh, studi oleh Nababan et al. (2021) yang mengkaji keberagaman burung di ruang terbuka hijau Universitas Lampung, menunjukkan bahwa burung lebih banyak ditemukan di daerah dengan kualitas udara yang lebih baik, sedangkan di area dengan polusi udara tinggi, burung yang ditemukan cenderung lebih sedikit dan terdiri dari spesies yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang buruk. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang mengindikasikan bahwa polusi udara dapat mengurangi keberagaman spesies burung di daerah perkotaan, terutama bagi spesies burung yang sensitif terhadap perubahan kualitas udara.

Implikasi Penelitian dan Arah Ke Depan

Perbandingan hasil penelitian ini dengan studi terdahulu memperlihatkan konsistensi temuan bahwa polusi udara memiliki dampak negatif terhadap spesies burung yang sensitif. Sebagai contoh, studi oleh Nababan et al. (2021) yang mengkaji keberagaman burung di ruang terbuka hijau Universitas Lampung menunjukkan bahwa burung lebih banyak ditemukan di daerah dengan kualitas udara yang lebih baik, sedangkan di area dengan polusi udara tinggi, burung yang ditemukan cenderung lebih sedikit dan terdiri dari spesies yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang buruk.

Temuan ini sejalan dengan bukti empiris yang menunjukkan bahwa indikator kualitas udara seperti konsentrasi nitrogen dioksida (NO_2) berhubungan negatif dengan kekayaan spesies burung dan indeks keanekaragaman di lingkungan perkotaan, di mana spesies sensitif menurun sedangkan beberapa spesies toleran terhadap polusi tetap dominan dalam komunitas burung urban (Darracq et al., 2025). Selain itu, penelitian lapangan di Asia bagian barat menemukan bahwa indeks keanekaragaman burung secara signifikan menurun pada lokasi dengan kualitas udara buruk, yang memperkuat peran tekanan polusi sebagai faktor utama dalam mengubah struktur komunitas burung di lanskap urban (Jangra et al., 2024). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang mengindikasikan bahwa polusi udara dapat mengurangi keberagaman spesies burung di daerah perkotaan, terutama bagi spesies burung yang sensitif terhadap perubahan kualitas udara.

Simpulan

Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa keanekaragaman burung di kawasan perkotaan dapat berfungsi sebagai bioindikator efektif untuk memantau kualitas udara, mengingat respon burung terhadap polusi yang tercermin dalam penurunan populasi, perubahan perilaku, dan kondisi fisiologis. Kajian pustaka ini menegaskan pentingnya burung dalam menilai kondisi ekosistem perkotaan, serta dampak negatif polusi udara terhadap keberlangsungan spesies tertentu. Sebagai saran, penelitian selanjutnya perlu mengembangkan model pemantauan berbasis bioindikator yang lebih terstandarisasi dan mengidentifikasi spesies burung sensitif terhadap polusi udara, untuk mendukung upaya konservasi dan kebijakan lingkungan berkelanjutan.

Referensi

Astasagita, S. J., Sulistiyowati, T. I., & Irawanto, R. (2024). Keanekaragaman dan Persebaran Flora - Fauna di Bantaran Daerah Aliran Sungai Brantas Kota Kediri. *Prosiding Seminar Nasional Kesehatan, Sains Dan Pembelajaran*, *3*(1), 152–158. https://proceeding.unpkediri.ac.id/index.php/seinkesjar/article/view/4502

Bhowmick, S. R. (2021). Biodiversity assessment of bird species as bioindicators and the impact of air pollution on the ecological community. *International Journal of Pure and Applied Zoology, 9*(2), 18-25.

Darracq, A., Bliznick, C., Yeager, R., Turner, J., Prathiba, P., Pease, J., Whiteman, H., Smith, T., & Bhatnagar, A. (2025). Air pollution and greenness independently and interactively influence bird communities in an urban neighborhood. *Conservation Science and Practice*, *7*(10). https://doi.org/10.1111/csp2.70147

de Groot, M., Flajšman, K., Mihelič, T., Vilhar, U., Simončič, P., & Verlič, A. (2021). Green space area and type affect bird communities in a South-eastern European city. *Urban Forestry & Urban Greening*, *63*, 127212. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127212

Fitriyanti, R., Budiharjo, A., & Widiyani, T. (2024). Keanekaragaman spesies burung di kawasan urban dan rural Kecamatan Boyolali, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi "SainTek," 1*(2), 1329–1340.

Hutami, A. T., Utami, A. T., Ramadhyanti, D., Sari, D. A. K., Faiqah, J. A., Indriani, L. D., Saputra, M. A., Purwani, Y., & Fitriana, N. (2022). Keanekaragaman jenis burung di taman kota Spatodea dan Tabebuya, Jakarta Selatan. *Bioma*, *18*(1), 32–41. https://doi.org/10.21009/Bioma18(1).5

Jangra, L., Verma, R., & Vats, D. (2024). Assessing Avian Diversity and the Impact of Air Pollution on Ecological Communities in Western Haryana, India. *Indian Journal of Ecology, 51*(6), 1559-1567. https://doi.org/10.55362/ije/2024/4441

Kusumahadi, K. S. (2020). Analisis keanekaragaman jenis burung di kawasan pantai indah kapuk kota Jakarta Utara. *Jurnal Ilmu Dan Budaya*, *41*(69), 8155-8168. https://doi.org/10.47313/jib.v41i69.892

La Sorte, F. A., Aronson, M. F. J., Lepczyk, C. A., & Horton, K. G. (2020). Area is the primary correlate of annual and seasonal patterns of avian species richness in urban green spaces. *Landscape and Urban Planning*, *203*, 103892. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103892

Li, M., Nabi, G., Sun, Y., Wang, Y., Wang, L., Jiang, C., Cao, P., Wu, Y., & Li, D. (2021). The effect of air pollution on immunological, antioxidative and hematological parameters, and body condition of Eurasian tree sparrows. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *208*, 111755. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111755

Luna, Á., & Blanch, E. (2024). Seasonal diversity, daily use and behaviour of birds using a green roof in a Mediterranean city. *Royal Society Open Science*, *11*(12). https://doi.org/10.1098/rsos.240761

Nababan, B. R. R., Harianto, S. P., & Setiawan, A. (2021). Diversitas spesies burung dalam penentuan kualitas ruang terbuka hijau di Universitas Lampung. *Jurnal Hutan Tropis*, *9*(1), 30–42. https://doi.org/10.20527/jht.v9i1.10466

Nurhasan, A. U., & Damayanti, V. (2021). Evaluasi fungsi ekologis taman kota dalam upaya peningkatan kualitas ruang perkotaan. *Jurnal Riset Perencanaan Wilayah Dan Kota*, *1*(2), 149–158. https://doi.org/10.29313/jrpwk.v1i2.479

Oropeza-Sánchez, M. T., Solano-Zavaleta, I., Cuandón-Hernández, W. L., Martínez-Villegas, J. A., Palomera-Hernández, V., & Zúñiga-Vega, J. J. (2024). Urban green spaces with high connectivity and complex vegetation promote occupancy and richness of birds in a tropical megacity. *Urban Ecosystems*, *28*(1), article number 50. https://doi.org/10.1007/s11252-024-01612-3

Peng, L., Liu, Q., Wang, Q., Si, X., Niu, H., & Zhang, H. (2024). Effects of urbanization and vegetation on bird diversity in a megacity of central China. *Biological Conservation*, *297*. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110718

Prihandi, D. R., & Nurvianto, S. (2022). The role of urban green space design to support bird community in the urban ecosystem. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, *23*(4), 2137-2145. https://doi.org/10.13057/biodiv/d230449

Re, A. J., Rogers, A. M., Possingham, H. P., & Kark, S. (2024). Bird utilisation of vertical space in urban environments. *Diversity*, *17*(1), 16. https://doi.org/10.3390/d17010016

Tan, J., Zhu, D., Wang, Q., & Wang, M. (2024). Application of passive acoustic technology in monitoring bird diversity in urban park green space: A case study of Chunshen Park in Minhang District, Shanghai. *Biodiversity Science*, *32*(10), 24262. https://doi.org/10.17520/biods.2024262

Sander, M. M., & Tietze, D. T. (2022). Impacts of traffic infrastructure on urban bird communities: a review. *Sustainability*, *14*(24), 16805. https://doi.org/10.3390/su142416805

Sharmin, M., Tjoelker, M. G., Esperon-Rodriguez, M., Katlav, A., Gilpin, A.-M., Rymer, P. D., & Power, S. A. (2024). Urban greening with shrubs can supercharge invertebrate abundance and diversity. *Scientific Reports*, *14*(1), Article number: 8735. https://doi.org/10.1038/s41598-024-58909-8

Wang, D., & Xu, P.-Y. (2024). Urban green infrastructure: bridging biodiversity conservation and sustainable urban development through adaptive management approach. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *12*. https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1440477

Widodo, F. A. (2012). *Keanekaragaman jenis burung serta nilai konservasi berbagai penggunaan lahan perkotaan di Kecamatan Kota Kabupaten Kudus*. https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/165606

Widodo, W. (2013). Kajian fauna burung sebagai indikator lingkungan di hutan Gunung Sawal, Kabupaten Ciamis, Jawa Barat. *Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Enviromental, and Learning*, *10*(1). https://jurnal.uns.ac.id/prosbi/article/view/6374

Yoza, D., S. Somadona, V. Colcherina. 2019. Isyarat Alam Mengungkap Kerusakan Lingkungan (Satwa Burung sebagai Indikator Perubahan Lingkungan). Prosiding Seminar Nasional Pelestarian Lingkungan, 15-21.