



# Penataan ruang Kota Jakarta berbasis net zero emission: dampak emisi pembangkit listrik

NIKO ABDILLAH<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat, 16424, Indonesia

\*Korespondensi: [niko.abdillah@gmail.com](mailto:niko.abdillah@gmail.com)

Diterima: 15 Februari, 2024

Disetujui: 29 Februari, 2024

## ABSTRAK

**Latar Belakang:** Polusi udara menjadi isu yang sangat menjadi perhatian dalam waktu hampir setahun terakhir ini, khususnya di DKI Jakarta. Pertumbuhan ekonomi paska pandemi mendorong tingginya aktifitas masyarakat. Kegiatan masyarakat yang tinggi mendorong tingginya penggunaan energi. **Metode:** Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur yang mencakup jurnal, publikasi akademis, dan publikasi oleh lembaga. **Temuan:** Melalui tulisan ini kita dapat mengetahui sumber apa yang berkontribusi atas pencemaran udara diperkotaan serta apa indikator dan bagaimana menentukan kualitas udara. Dengan tingginya tingkat pencemaran udara sangat mempengaruhi biodiversitas dan ekosistem di perkotaan. **Kesimpulan:** Melakukan proyeksi perubahan iklim menggunakan WRF untuk mengetahui dampak dan pengaruh pada ekosistem tersebut. Pada kasus pencemaran oleh PLTGU di Jakarta Utara menggunakan analisa ring multi buffer pada arc GIS dapat terlihat jangkauan dampak polusi PLTGU. Luas Jakarta Utara sebesar 146,7 km<sup>2</sup> hanya memiliki Taman dan RTH sebesar 0,277 km<sup>2</sup>. Perlu dilakukan solusi jangka pendek dan jangka panjang untuk meminimalkan pencemaran dan menjaga keberlanjutan ekosistem perkotaan.

**KATA KUNCI:** biodiversitas; keberlanjutan; perkotaan; polusi, tata ruang.

## ABSTRACT

**Background:** Air pollution has become an issue of great concern in almost the last year, especially in DKI Jakarta. Post-pandemic economic growth has encouraged high levels of community activity. High levels of community activity encourage high energy use. **Methods:** This research uses a qualitative approach with a literature study method which includes journals, academic publications and publications by institutions. **Findings:** Through this article we can find out what sources contribute to urban air pollution as well as what the indicators are and how to determine air quality. High levels of air pollution greatly affect biodiversity and ecosystems in urban areas. **Conclusion:** Project climate change using WRF to determine the impact and influence on the ecosystem. In the case of pollution by PLTGU in North Jakarta, using multi-buffer ring analysis in arc GIS, the range of impacts of PLTGU pollution can be seen. The area of North Jakarta is 146.7 km<sup>2</sup> and only has parks and open space of 0.277 km<sup>2</sup>. Short-term and long-term solutions need to be implemented to minimize pollution and maintain the sustainability of urban ecosystems.

**KEYWORDS:** biodiversity; pollution; spatial planning; sustainability; urban.

## 1. Pendahuluan

Negara-negara akan mengalami tingkat polusi yang tinggi pada tahap perkembangan GDP mereka (Obobisa, 2022). Pertumbuhan yang tinggi dihasilkan dari kegiatan ekonomi

### Cara Pengutipan:

Abdillah, N. (2024). Penataan ruang Kota Jakarta berbasis net zero emission: dampak emisi pembangkit listrik. *Spatial Review for Sustainable Development*, 1(1), 23-43. <https://doi.org/10.61511/srsd.v1i1.2024.712>

**Copyright:** © 2024 dari Penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan dari the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



yang lebih besar, hal tersebut membutuhkan penggunaan energi yang lebih besar juga. Penggunaan energi fosil sebagai sumber pembangunan dalam kegiatan ekonomi menghasilkan degradasi lingkungan hidup dengan meningkatnya emisi karbon (Shahbaz et al., 2020). Meningkatnya aktivitas manusia mempengaruhi iklim bumi dan ekosistem (Millennium Ecosystem Assessment (Program), 2005). bumi telah memasuki jaman baru yaitu Anthropocene dimana manusia merupakan pendorong dominan perubahan pada Sistem Bumi (Crutzen, 2022). Pertumbuhan secara eksponensial pada aktivitas manusia meningkatkan kekhawatiran bahwa tekanan lebih lanjut pada Sistem Bumi dapat mengganggu kestabilan sistem biofisik yang kritis dan memicu perubahan lingkungan yang tiba-tiba atau tidak dapat dipulihkan hal tersebut akan merusak atau bahkan menjadi bencana bagi kesejahteraan manusia. Hal ini merupakan dilema yang mendalam karena paradigma utama pembangunan sosial dan ekonomi sebagian besar tidak menyadari risiko bencana lingkungan yang disebabkan oleh manusia pada skala benua hingga planet (Lecture et al., 2008).

Dunia sedang mengalami transformasi global yang berlangsung cepat, dan salah satu tantangan paling mendesak di abad ini adalah mengatasi dampak perubahan iklim, salah satu komponen penting di antaranya adalah transisi menuju net-zero city. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) mengindikasikan bahwa transformasi yang cepat dan ekstensif diperlukan untuk membatasi pemanasan global hingga 1,5 derajat C, dengan target yang bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) global sebesar 45 persen pada tahun 2030, diikuti dengan tercapainya netralitas karbon pada tahun 2050 (IPCC, 2022). Revolusi industri ke-4 dan dekarbonisasi global sering disebut sebagai dua megatren yang saling terkait. Khususnya, di mana revolusi industri ke-4 diperkirakan akan mengubah ekonomi, masyarakat, dan sistem keuangan secara fundamental, revolusi ini juga dapat menciptakan peluang untuk masa depan nol karbon (Shahbaz et al., 2020). Mencapai net zero emission membutuhkan deep decarbonization dan transformasional di setiap aspek yang berhubungan dengan manusia, termasuk bagaimana daerah perkotaan-perkotaan di dunia dipahami, dirancang, dibangun dan diberdayakan (Seto et al., 2021).

Lebih dari 50% populasi dunia tinggal di perkotaan. Jumlah orang yang tinggal di kota telah meningkat secara dramatis sejak revolusi industri, karena peluang kerja terbuka luas di daerah perkotaan dan permintaan tenaga kerja pertanian telah menurun dengan meningkatnya teknologi pertanian (Kirsten M. Parris, 2016).

Kota adalah mesin pembangunan dan memberikan peluang untuk inovasi dan interaksi. Namun, kota juga dapat memperburuk kondisi lingkungan dan sosio-ekonomi ke tahap yang paling serius di dunia, dan pada saat yang sama, warga dan infrastruktur perkotaan pula menghadapi kerentanan (UNEP, 2021). Kota-kota saat ini menjadi rumah bagi lebih dari 55% populasi dunia, dan angka ini diproyeksikan akan meningkat menjadi hampir 70% pada tahun 2050 (UN-HABITAT, 2022). Proporsi populasi global yang tinggal di kota-kota besar dan kecil diperkirakan akan meningkat dari 54% di tahun 2015 menjadi 66% di tahun 2050, Peningkatan jumlah penduduk ini akan mengakibatkan perluasan yang signifikan dari kota-kota yang sudah ada dan pembangunan kota-kota baru, konsumsi material oleh kota-kota di dunia akan tumbuh dari 40 miliar ton pada tahun 2010 menjadi sekitar 90 miliar ton pada tahun 2050 (United Nations Environment Programme, 2018).

Dalam pembangunan dan operasionalnya serta untuk mendukung gaya hidup perkotaan, kota-kota menggunakan miliaran ton bahan mentah, mulai dari bahan bakar fosil, pasir, kerikil dan bijih besi, hingga sumber daya biotik seperti seperti kayu dan makanan. Dengan penggunaan sumber daya yang tinggi tersebut, kota bertanggung jawab atas lebih dari 60% emisi gas rumah kaca (Allam et al., 2022) dan 75% konsumsi energi primer global (United Nations Environment Programme, 2018). Peningkatan pembakaran bahan bakar fosil dan peningkatan emisi CO<sub>2</sub> dan Gas Rumah Kaca (GRK) lainnya ke atmosfer, gas-gas ini memerangkap radiasi matahari yang dipantulkan dari permukaan bumi dan menghasilkan suhu bumi yang lebih tinggi (Adamo et al., 2022). Pada saat yang sama, kota akan menghadapi lebih banyak kejadian stres akibat panas, dan perbedaan suhu rata-rata antara daerah pedesaan dan perkotaan juga akan meningkat (Liao et al., 2021).

Untuk itu sangat penting peran produksi hijau sebagai mediator dalam dampak kesadaran mengelola lingkungan, tekanan pelanggan, dan kontrol regulasi terhadap kinerja lingkungan (Zameer et al., 2021).

Ekosistem perkotaan adalah sistem ekologi yang ada di dalam kawasan perkotaan, yang mencakup sejumlah karakteristik khas. Ekosistem ini ditandai oleh transformasi signifikan dari lingkungan alam menjadi lingkungan buatan manusia. Ciri-ciri utama dari ekosistem perkotaan termasuk tingginya kepadatan populasi manusia, penggunaan lahan yang intensif untuk permukiman, industri, dan transportasi, serta adanya infrastruktur perkotaan seperti jalan, bangunan tinggi, dan sistem air limbah (Kirsten M. Parris, 2016).

Situasi perkotaan mendorong perubahan pada tiga jenis yaitu urban sprawl adalah fenomena pertumbuhan perkotaan yang tidak terkendali dan tidak teratur, Informal settlements (pemukiman kumuh) adalah kawasan pemukiman yang berkembang secara organik dan seringkali tidak teratur di dalam atau di sekitar kota, dimana penduduknya tinggal tanpa izin resmi atau infrastruktur yang memadai dan perkotaan modern yang layak (Kirsten M. Parris, 2016).

Masyarakat miskin yang tinggal di daerah kumuh memiliki risiko yang sangat tinggi terhadap dampak perubahan iklim dan bahaya alam. Mereka tinggal di lahan-lahan yang paling rentan di dalam kota, biasanya di daerah yang dianggap tidak diinginkan oleh orang lain dan tidak terjangkau. Penduduk terpapar pada dampak tanah longsor, kenaikan permukaan air laut, banjir, dan bahaya lainnya. Paparan terhadap risiko diperparah dengan kondisi kehidupan yang penuh sesak, kurangnya infrastruktur dan layanan yang memadai, perumahan yang tidak aman, nutrisi yang tidak memadai dan kesehatan yang buruk. Kondisi-kondisi ini dapat mengubah bahaya alam atau perubahan iklim menjadi bencana dan mengakibatkan hilangnya layanan dasar, kerusakan atau kehancuran tempat tinggal, hilangnya mata pencaharian, penyakit, kecacatan, dan hilangnya nyawa (Judy L. Baker, 2012).

Pertumbuhan penduduk dan ekonomi yang kuat dan berkesinambungan telah menghasilkan peningkatan pesat daerah perkotaan dan perubahan penggunaan lahan. Antara tahun 1980-2001, hampir seperempat lahan di Jakarta diubah dari pemanfaatan non-perkotaan (seperti: pertanian, lahan basah) dan sekarang dimanfaatkan untuk kebutuhan perkotaan seperti industri, perdagangan dan perumahan. Lahan yang belum dibangun di Jabodetabek turun sebanyak 60 persen antara tahun 1992 dan 2005 (The World Bank, 2011).

Jakarta kini sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim. Risiko terkait perubahan iklim dan bencana terbesar yang dihadapi Jakarta adalah banjir dengan dampak buruk sangat besar bagi perekonomian dan masyarakat Jakarta. Empat puluh persen dari wilayah perkotaan, sebagian besar di daerah utara, berada di bawah permukaan laut dan sangat rentan terhadap banjir karena air pasang, badai, dan kenaikan tingkat permukaan laut di masa depan. Baik jumlah maupun intensitas curah hujan telah meningkat, serta naiknya suhu global dan efek urban heat island telah meningkatkan suhu rata-rata (The World Bank, 2011).

Pembangunan di kota-kota besar menyebabkan perubahan suhu global yang berakibat adanya perubahan unsur iklim terutama kenaikan suhu udara. Adanya pembangunan yang pesat, seperti gedung-gedung tinggi di seluruh Indonesia khususnya di daerah Jakarta, secara langsung maupun tidak langsung akan merubah karakteristik permukaan fisik tanah (Mungkasa, 2009). Namun di balik kemajuan yang kita nikmati, terdapat tantangan serius yang mengancam keberlanjutan ekosistem perkotaan. Salah satu tantangan terbesar yang dihadapi oleh lingkungan perkotaan saat ini adalah pencemaran udara. Seperti apa kondisi pencemaran udara di DKI Jakarta belakangan ini, lalu bagaimana mengetahui kualitas udara yang sudah tercemar. Dan sumber apa yang berkontribusi atas pencemaran udara di DKI Jakarta.

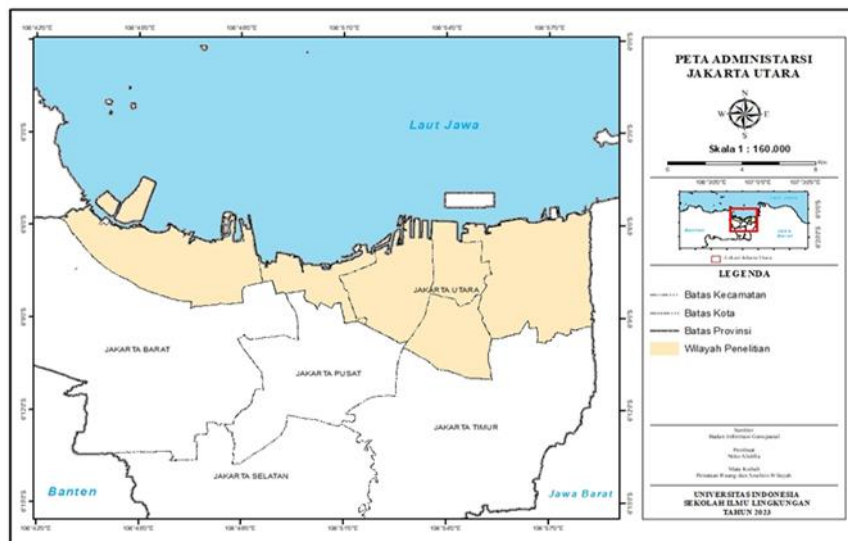
Pencemaran udara di lingkungan perkotaan bukanlah masalah baru, tetapi dampaknya semakin menjadi perhatian serius. Kualitas udara yang buruk dapat membahayakan kesehatan dan keselamatan manusia dan merusak ekosistem yang ada. Apa dampak pada

kehidupan di perkotaan termasuk biodiversitas dan ekosistem bila pencemaran tersebut terus terjadi dan melebihi ambang batas.

Kondisi perkotaan memiliki tingkat polusi yang lebih tinggi, eksposur terhadap aktivitas manusia yang intensif, serta keberagaman hayati yang telah beradaptasi dengan perubahan lingkungan yang unik ini. Memahami ekosistem perkotaan adalah penting untuk mengelola tantangan-tantangan lingkungan yang kompleks yang dihadapi oleh kota-kota di seluruh dunia. Untuk itu sangat penting dalam mengambil langkah serta upaya dalam meminimalkan pencemaran udara di ekosistem perkotaan, khususnya DKI Jakarta.

## 2. Metode

Lokasi penelitian berada pada DKI Jakarta, dalam kasus ini pada Jakarta Utara. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur. Metode studi literatur adalah serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengolah bahan penelitian (Mestika Zed, 2008). Metode ini bertujuan untuk menelaah berbagai teori yang relevan dengan topik yang sedang diteliti sebagai bahan rujukan dalam analisis dan pembahasan hasil penelitian. Literatur tersebut mencakup jurnal, publikasi akademis, dan publikasi oleh lembaga.



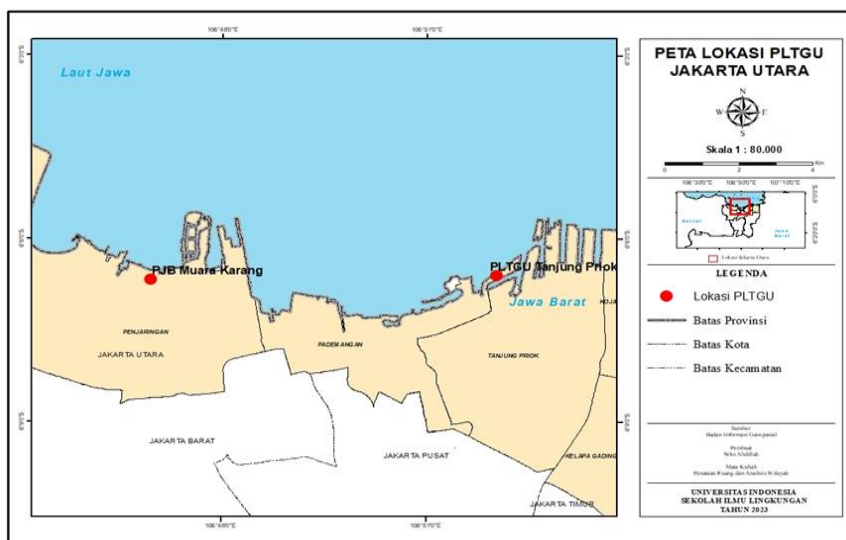
Gambar 1. Peta lokasi adminisrasi Jakarta Utara

Luas administrasi Jakarta Utara adalah sebesar 146,7 km<sup>2</sup>. Penelitian pada Penataan Ruang Kota Jakarta Berbasis Net Zero Emission merupakan dampak dari emisi pembangkit listrik PLTGU Priok dan PLTGU Muara Karang di Jakarta Utara. Dilakukan proyeksi iklim menggunakan pemodelan WRF untuk melihat kecenderungan perubahan iklim yang didapat dari literatur. Dari sumber lainnya dikumpulkan beberapa referensi terkait sumber pencemaran udara, sebaran polutan dan perubahan temperatur tahun 2022 dan 2023 yang dijadikan bahan analisa sebagai indikator pemanasan global. Berikutnya dilakukan analisa spasial terkait lokasi terdampak pada polusi yang bersumber dari PLTGU Priok dan PLTGU Muara Karang. Dengan analisa multi ring buffer yang dilakukan pada ArcGIS dapat terlihat jangkauan terdampak akibat polusi PLTGU Priok dan Muara Karang, serta dengan perhitungan jumlah luasan Taman dan RTH di Jakarta Utara lalu didapatkan kesimpulan dan rekomendasi pada pendekatan tata ruang.

### 3. Hasil dan Pembahasan

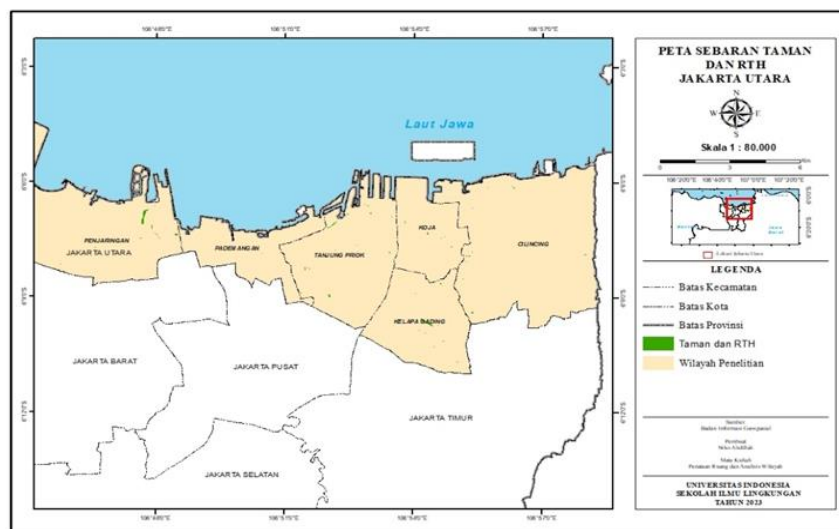
Faktor yang mempengaruhi pencemaran udara khususnya di DKI Jakarta adalah pengaruh siklus musim, aktifitas masyarakat atas pembakaran liar dan dari sumber bergerak dan tidak bergerak. Yang termasuk sumber bergerak adalah kendaraan bermotor dan sumber tidak bergerak adalah industri dan pembangkit listrik.

Jakarta Utara merupakan kota terluas no 3 di DKI Jakarta yaitu seluas 146,7 km<sup>2</sup>, PLTGU Priok dan PLTGU Muara Karang merupakan salah satu pembangkit listrik yang mensuplai kelistrikan di DKI Jakarta, pembangkit tersebut berlokasi di Jakarta Utara sebagaimana gambar 2. Pada gambar 2 dapat dilihat jangkauan terdampak polusi dari PLTGU Priok dan PLTGU Muara Karang. Jangkauan tersebut disimulasikan menggunakan Arc GIS dengan analisa multi ring buffer. Sedangkan pada gambar 3 dapat terlihat sebaran Taman dan RTH di Jakarta Utara dari perhitungan attribute yang dilakukan pada ArcGIS didapatkan bahwa luasan Taman dan RTH tersebut 2,77 Ha atau seluas 1.2% dari luasan kota Jakarta Utara hal tersebut masih jauh dari angka ideal.



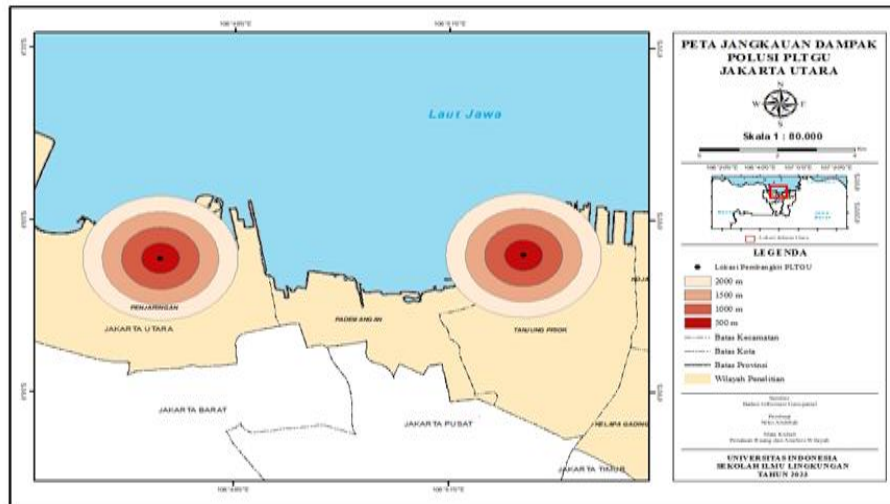
Gambar 2. Peta lokasi PLTGU Priok dan PLTGU Muara Karang

Bersumber dari portal Jakarta Satu, berikut sebaran Taman dan RTH di Jakarta Utara:



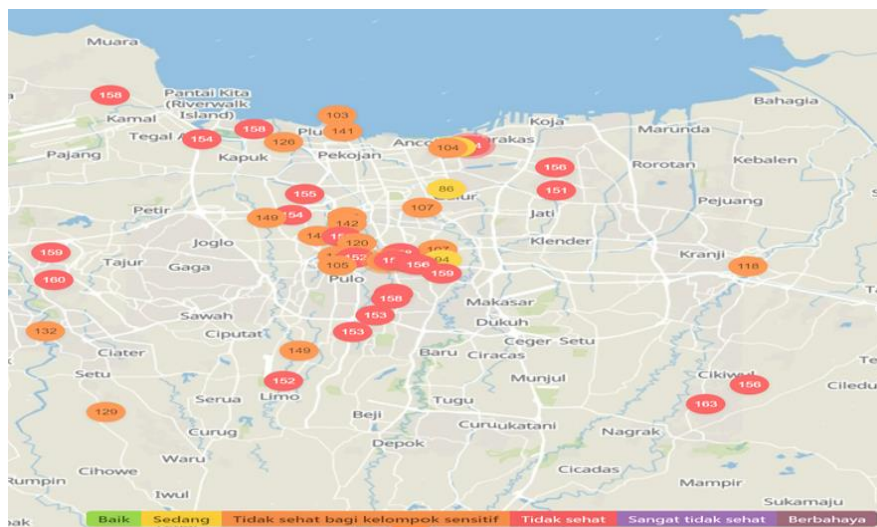
Gambar 3. Sebaran Taman dan RTH di Jakarta Utara

Dengan analisa menggunakan geospasial (ArcGIS) dan metode multiring buffer didapatkan hasil jangkauan dampak dari pulusi PLTGU di Jakarta Utara:



Gambar 4. Jangkauan dampak polusi PLTGU Jakarta Utara

Untuk mengukur kualitas udara indikatornya telah diatur oleh Kementerian KLHK. Indikator untuk kualitas udara adalah Indeks Kualitas Udara (IKU) dan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Dari data yang diperoleh dari IQAir, berikut infografis sebaran kualitas udara di beberapa titik status 12 November 2023 di kota DKI Jakarta:



Gambar 5. Peta polusi Jakarta (IQAir, 2023)

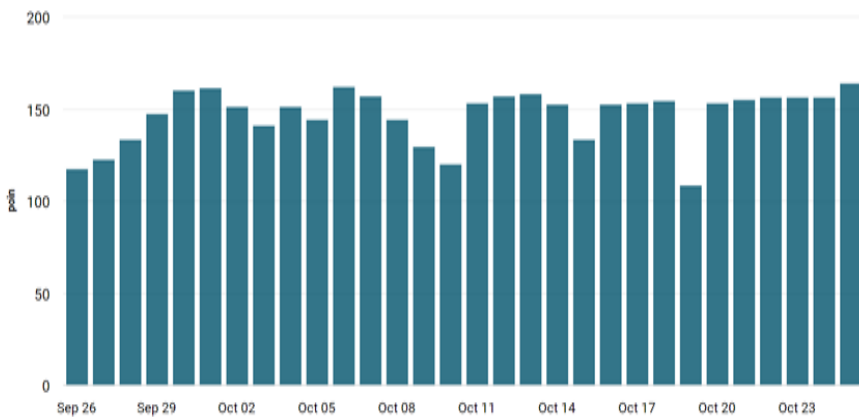
Populasi penduduk terkonsentrasi pada kota besar, sehingga tingkat polusi pada kota besar relatif lebih tinggi, berikut sebaran kota besar di Indonesia yang memiliki tingkat polusi tertinggi:





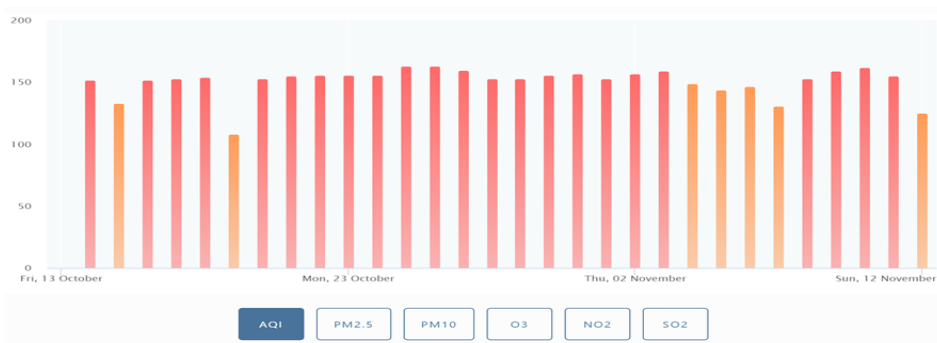
Gambar 6. Enam besar kota terpolusi di Indonesia (PM 2.5) (IQAir, 2023)

Sesuai dengan metode pengumpulan data sekunder dari literatur bahwa Indeks kualitas Udara (IKU) rerata harian di DKI Jakarta terlihat pada gambar 6 dari 30 September-30 Oktober 2023 berada pada kategori tidak sehat dengan nilai rata-rata 150 poin, dimana tingkat mutu tersebut merugikan bagi manusia, hewan dan tumbuhan.



Gambar 7. Rerata harian kualitas udara Jakarta (Erlina F. Santika, 2023)

Dari hasil penelusuran berbagai sumber, didapatkan historical data yang dapat dijadikan referensi sebagai bahan analisa, sumber data berasal dari IQAir dengan data polutan PM2.5, O3, NO2 dan SO2 sebagai berikut (gambar 7-11):



Gambar 8. Air Quality Index (AQI) kualitas udara Jakarta (IQAir, 2023)



Gambar 9. Air Quality Index (AQI) kualitas udara PM2.5 Jakarta (IQAir, 2023)



Gambar 10. Air Quality Index (AQI) kualitas udara O3 Jakarta (IQAir, 2023)



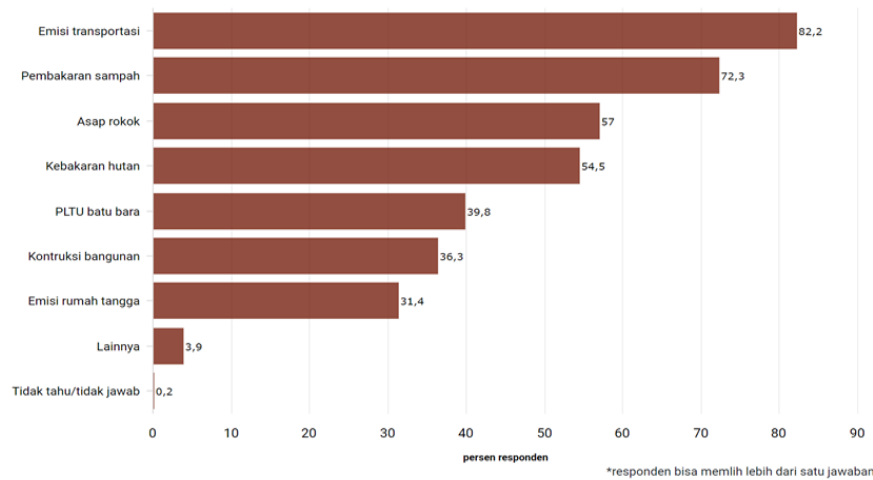
Gambar 11. Air Quality Index (AQI) kualitas udara NO2 Jakarta (IQAir, 2023)





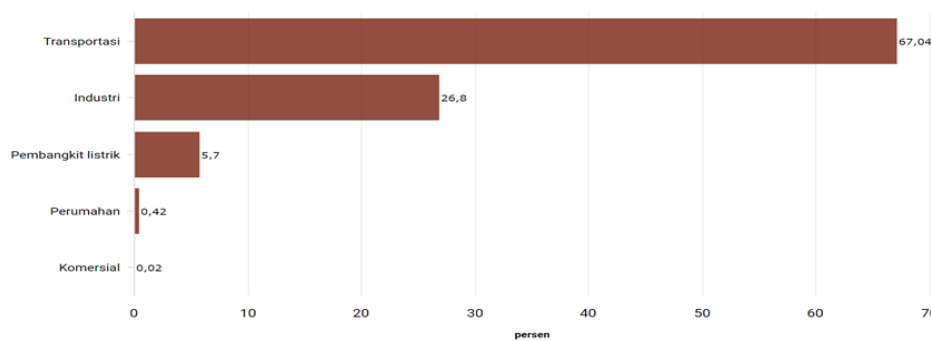
Gambar 12. Air Quality Index (AQI) kualitas udara SO2 Jakarta (IQAir, 2023)

Berdasarkan survey yang dilakukan kepada masyarakat DKI Jakarta terkait sumber polusi udara di DKI Jakarta adalah sebagai berikut, data diperoleh dari [databoks.katadata.co.id](http://databoks.katadata.co.id)



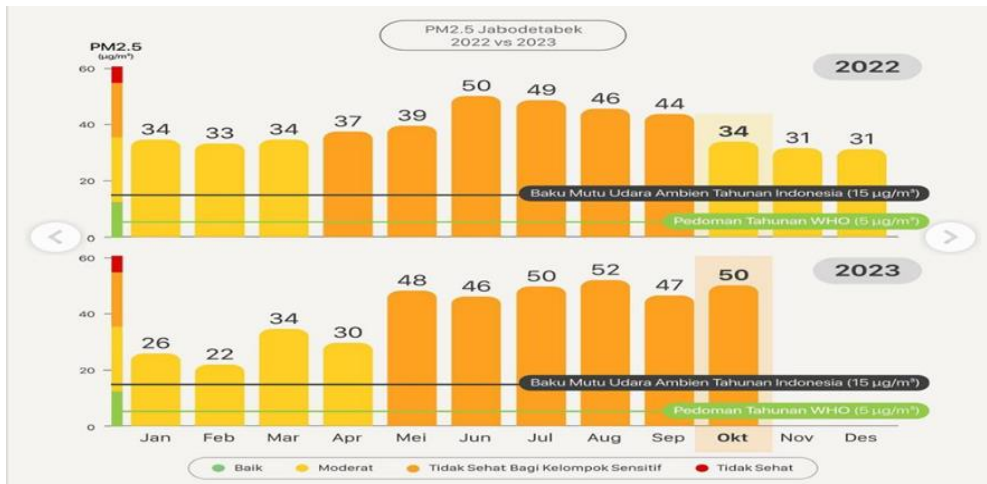
Gambar 12. Survei sumber pencemaran di Jakarta (Nabilah Muhamad, 2023)

Sektor transportasi bertanggung jawab paling besar atas emisi polutan-polutan di atas, kecuali SO2. Emisi SO2 di Jakarta diperkirakan mencapai 4.256-ton pada 2018 dan mayoritasnya berasal dari sektor industri termasuk pembangkit listrik. Berikut referensi lain yang menginformasikan sumber pencemaran udara di DKI Jakarta:

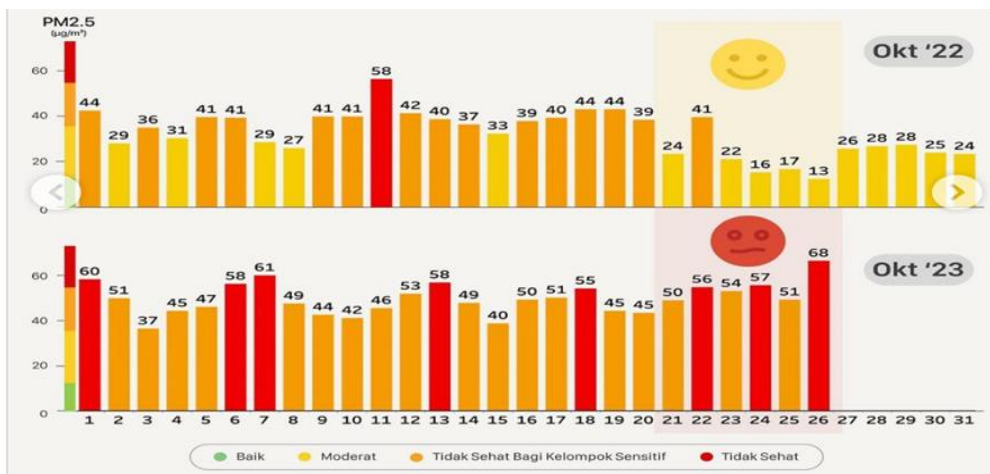


Gambar 13. Penyumbang polusi udara PM2.5 di Jakarta (Dzulfiqar Fathur Rahman, 2022)

Bila dilihat perbandingan histori tingkat polusi udara di DKI Jakarta tahun 2022 dengan tahun 2023 relatif naik. Data tersebut dapat terlihat pada gambar 3.xx dan 3.xx, sumber data berasal dari aplikasi Nafas.co.id.

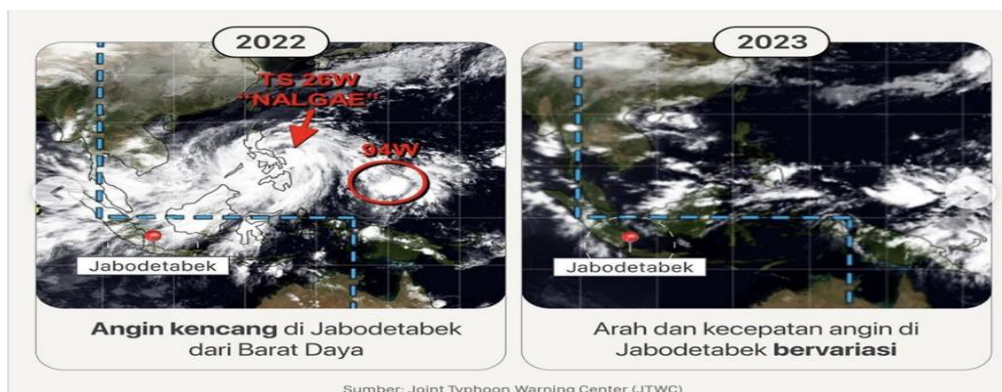


Gambar 14. Kualitas udara bulanan 2022 vs 2023 di Jakarta (Nafas, 2023)



Gambar 15. Kualitas udara Oktober 2022 vs 2023 di Jakarta (Nafas, 2023)

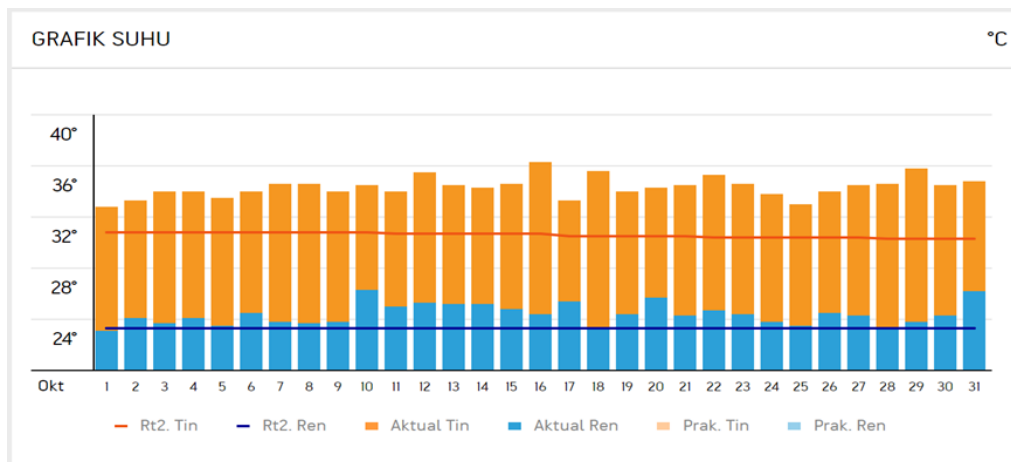
Didapatkan bahwa kecepatan angin pada tahun 2022 dan tahun 2023 berbeda, terlihat pada gambar 16 kecepatan angin pada tahun 2022 lebih tinggi dibanding tahun 2023.



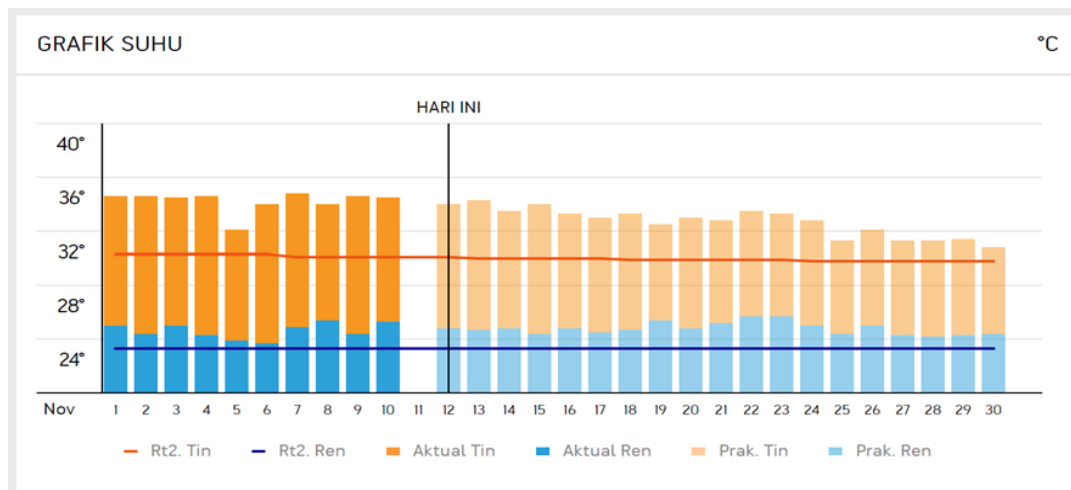
Gambar 16. Meteorologi 2022 vs 2023 di Jabodetabek (Nafas, 2023)

Dari gambar 12 dan 13 menyatakan bahwa faktor penyebab terkontaminasinya udara di perkotaan adalah dari sumber bergerak yaitu transportasi, di ikuti dengan industri dan pembangkit listrik. Bila dibandingkan tahun 2022 dengan tahun 2023 pada gambar 14 terlihat polusi udara di tahun 2023 relatif lebih tinggi. Dari kualitas udara harian bulan Oktober 2022 vs 2023 pada gambar 15 menunjukkan bahwa, hari libur atau sabtu minggu bukan merupakan indikator tinggi atau rendahnya tingkat pencemaran udara. Berdasarkan gambar 16 menunjukkan faktor lain penyebab tingginya kontaminasi udara yaitu perbedaan arah dan kecepatan angin mendukung akumulasi polutan yang menyebabkan polusi terpantau tinggi.

Perubahan iklim salah satunya terindikasi dari tingginya temperatur, dari data yang diperoleh dari AccuWeather, temperatur di DKI Jakarta pada Oktober-November 2023 dan November 2022 terlihat kenaikan



Gambar 17. Temperatur DKI Jakarta bulan Oktober 2023 (AccuWeather, 2023)



Gambar 18. Temperatur DKI Jakarta bulan November 2023 (AccuWeather, 2023)

Oktober 2022						HARIAN
M	S	S	R	K	J	S
25	26	27	28	29	30	1
33° 23°	34° 23°	33° 24°	33° 23°	32° 25°	32° 23°	33° 24°
2	3	4	5	6	7	8
31° 24°	33° 23°	33° 24°	30° 23°	32° 23°	31° 23°	33° 23°
9	10	11	12	13	14	15
32° 24°	32° 24°	32° 22°	32° 23°	32° 24°	32° 23°	32° 24°
16	17	18	19	20	21	22
32° 24°	33° 25°	30° 24°	32° 24°	31° 24°	31° 25°	33° 24°
23	24	25	26	27	28	29
32° 25°	32° 25°	31° 25°	32° 22°	33° 22°	35° 22°	33° 25°
30	31	1	2	3	4	5
35° 22°	32° 24°	33° 23°	32° 23°	31° 24°	34° 24°	33° 23°

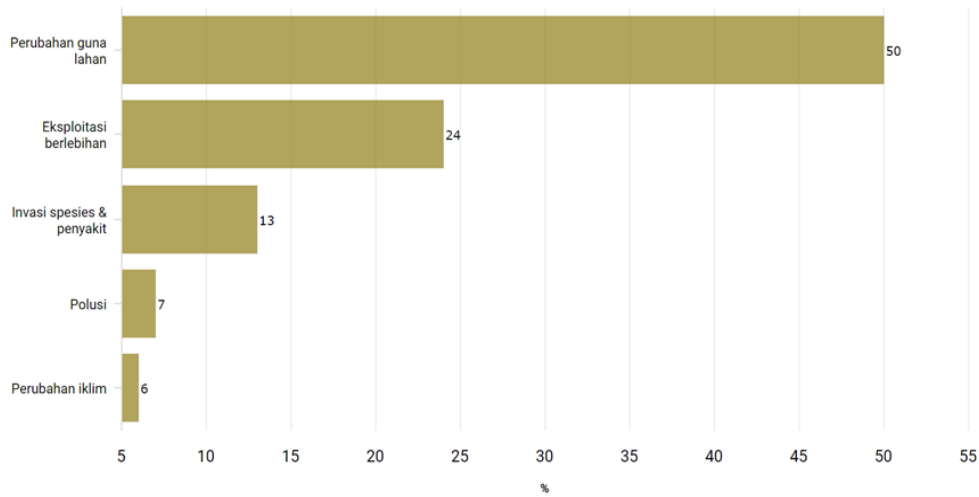
Gambar 19. Temperatur DKI Jakarta bulan Oktober 2022 (AccuWeather, 2023)

November 2022						HARIAN
M	S	S	R	K	J	S
30	31	1	2	3	4	5
35° 22°	32° 24°	33° 23°	32° 23°	31° 24°	34° 24°	33° 23°
6	7	8	9	10	11	12
31° 23°	31° 23°	30° 23°	31° 21°	32° 24°	32° 25°	33° 24°

Gambar 20. Temperatur DKI Jakarta bulan November 2022 (AccuWeather, 2023)

Tingginya tingkat polusi di DKI Jakarta berdampak juga pada meningkatnya temperatur yang merupakan indikator dari dampak perubahan iklim. Pada gambar 17 terlihat bahwa temperatur tertinggi adalah 36 deg C pada tanggal 12 Oktober 2023 dan pada gambar 19 dapat dilihat temperature tertinggi adalah 33 deg C terjadi beberapa hari di Oktober 2022. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa sudah terjadi indikator percepatan perubahan iklim dengan kenaikan temperatur 2 deg C dalam setahun.

Gambar 20 merupakan gambaran bahwa yang menyebabkan hilangnya keanekaragaman hayati bukan hanya dari perubahan guna lahan akan tetapi polusi juga berdampak terhadap biodiversitas keanekaragaman hayati dan tentunya ekosistem, sebagai contoh nyata yang terjadi di DKI Jakarta bahwa telah hilangnya spesies sensitif yang mendiami saluran air dan juga kupu-kupu yang menjadi bio indikator terhadap udara yang terkontaminasi.



Gambar 21. Ancaman keanekaragaman hayati  
(Monavia Ayu Rizaty, 2021)

Berdasarkan data Global Burden Diseases 2019 Diseases and Injuries Collaborators terdapat lima penyakit respirasi penyebab kematian tertinggi di dunia, yakni penyakit paru obstruktif kronis (PPOK), pneumonia, kanker paru, tuberkulosis, dan asma. Data tersebut menunjukkan PPOK memiliki 3,2 juta kematian, pneumonia 2,6 juta kematian, kanker paru 1,8 juta kematian, tuberkulosis 1,2 juta kematian, dan asma dengan 455 ribu kematian di seluruh dunia. Mengutip data Kementerian Kesehatan, di Indonesia dari 10 penyakit dengan kasus terbanyak, empat di antaranya merupakan penyakit respirasi. Penyakit itu antara lain PPOK yang mencatatkan 78,3 ribu kematian, kanker paru dengan 28,6 ribu kematian, pneumonia dengan 52,5 ribu kematian, dan asma yang sudah mencatatkan 27,6 ribu kematian. Data yang sama menunjukkan risiko terjadinya PPOK akibat polusi udara mencapai 36,6%, risiko pneumonia mencapai 32%, asma 27,95%, kanker paru 12,5%, dan tuberkulosis sebesar 12,2%. Selain itu, menurut Kementerian Kesehatan, usia penduduk Indonesia rata-rata berkurang 1,2 tahun akibat konsentrasi partikel debu halus di udara (Dini Pramita, 2023).

Faktor risiko polusi udara terhadap penyakit respirasi ini tercatat cukup tinggi. Data BPJS Kesehatan selama periode 2018 sampai 2022, anggaran yang di tanggung untuk penyakit respirasi mencapai angka yang signifikan dan memiliki kecenderungan meningkat setiap tahun. Pneumonia menelan biaya sebesar Rp 8,7 triliun, tuberkulosis Rp 5,2 triliun, PPOK Rp 1,8 triliun, asma Rp 1,4 triliun, dan kanker paru Rp 766 miliar (Dini Pramita, 2023).

Dari hasil tinjauan literatur dan pembahasan di simpulkan bahwa perlunya segera di lakukan penanggulangan dampak perubahan iklim pada tata ruang di DKI Jakarta. Penanggulangan tersebut melalui Langkah jangka pendek dan jangka panjang untuk menjaga keberlanjutan ekosistem perkotaan, seperti meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap dampak polusi udara, mengurangi penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil, melakukan transformasi energi dengan menggunakan energi baru terbarukan, membudayakan penggunaan angkutan umum, mengoptimalkan penghijauan di area terbatas, peningkatan dan pengembangan RTH pada lokasi yang belum/tidak produktif, melakukan konservasi ekosistem yang sudah rusak, serta menerapkan aturan secara tegas.

#### 4. Kesimpulan

Tingginya aktivitas manusia mendorong kerusakan alam, lebih dari 56,7% populasi masyarakat ada di perkotaan. Ciri-ciri utama dari ekosistem perkotaan termasuk tingginya kepadatan populasi manusia, penggunaan lahan yang intensif untuk permukiman, industri, dan transportasi, serta adanya infrastruktur perkotaan seperti jalan, bangunan tinggi, dan sistem air limbah. Indikator untuk kualitas udara adalah Indeks Kualitas Udara (IKU) dan

Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). NO<sub>x</sub> dan amonia merupakan polutan yang dapat mengendap di badan air, di mana mereka berkontribusi pada eutrofikasi. O<sub>3</sub> dapat mengganggu fungsi fotosintesis pada tumbuhan yang akhirnya menyebabkan tumbuhan tersebut tidak tumbuh dan mati.

Sulfur dioksida dan Nitrogen menyebabkan "hujan asam", sehingga meningkatkan keasaman yang berdampak buruk pada flora dan fauna. Pada akhirnya, pengasaman mempengaruhi kemampuan ekosistem untuk menyediakan "jasa ekosistem." Mengutip Polusi udara menyebabkan kenaikan angka penyakit respirasi atau gangguan pernapasan. Usia penduduk Indonesia rata-rata berkurang 1,2 tahun akibat konsentrasi partikel debu halus di udara. Polusi udara di Jakarta menelan biaya ekonomi Rp 21,5 triliun Dilakukan proyeksi iklim menggunakan pemodelan Weather Research and Forecasting Model (WRF) dengan hasil peningkatan suhu rata-rata di wilayah perkotaan dengan kepadatan penduduk tinggi (high sprawl urban/HSU) pada skenario RCP2.6 & Compact adalah sebesar  $0,67 \pm 1,04^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pada skenario RCP8.5 & BaU mencapai  $1,46 \pm 1,50^{\circ}\text{C}$ .

Faktor pencemaran udara adalah siklus musim, aktifitas masyarakat atas pembakaran liar dan dari sumber bergerak dan tidak bergerak. Transportasi merupakan urutan pertama penyumbang buruknya udara di perkotaan di ikuti industri dan pembangkitan listrik. Siklus iklim seperti perbedaan arah dan kecepatan angin mendukung akumulasi polutan yang menyebabkan polusi terpantau tinggi. Terjadi kenaikan temperatur secara rata-rata pada DKI Jakarta 1 deg C dari tahun 2022 ke tahun 2023, hal tersebut merupakan dampak dari perubahan iklim. Akan tetapi pada bulan Oktober 2022 dengan Oktober 2023 kenaikan temperature tertinggi adalah 3 deg C. Di DKI Jakarta hilangnya spesies sensitif yang mendiami saluran air dan juga kupu-kupu yang menjadi bio indikator terhadap udara yang terkontaminasi.

## **Ucapan Terima Kasih**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim IASSSF karena telah mendukung penulisan penelitian ini.

## **Kontribusi Penulis**

Semua penulis berkontribusi penuh atas penulisan artikel ini.

## **Pendanaan**

Penelitian ini tidak mendapat sumber dana dari manapun.

## **Pernyataan Dewan Peninjau Etis**

Tidak berlaku.

## **Pernyataan Persetujuan yang Diinformasikan**

Tidak berlaku.

## **Pernyataan Ketersediaan Data**

Tidak berlaku.

## **Konflik Kepentingan**

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

## Akses Terbuka

©2024. Artikel ini dilisensikan di bawah Lisensi International Creative Commons Attribution 4.0, yang mengizinkan penggunaan, berbagi, adaptasi, distribusi, dan reproduksi dalam media dalam format apapun. Selama Anda memberikan kredit yang sesuai kepada penulis asli dan sumbernya, berikan tautan ke Lisensi Creative Commons, dan tunjukkan jika ada perubahan. Gambar atau materi pihak ketiga lainnya dalam artikel ini termasuk dalam Lisensi Creative Commons artikel tersebut, kecuali dinyatakan dalam batas kredit materi tersebut. Jika materi tidak termasuk dalam Lisensi Creative Commons artikel dan tujuan penggunaan Anda tidak diizinkan oleh peraturan perundang-undangan atau melebihi penggunaan yang diizinkan, Anda harus mendapatkan izin untuk langsung dari pemegang hak cipta. Untuk melihat lisensi ini kunjungi: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Referensi

- AccuWeather. (2023). Cuaca DKI Jakarta. AccuWeather. <https://www.accuweather.com/id/id/jakarta/208971/november-weather/208971?year=2023>
- Adamo, N., Al-Ansari, N., & Sissakian, V. (2022). Climate Change and the Need for Future Research. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1120(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1120/1/012029>
- Alfons Yoshio, & Jeany Hartriani. (2021, November 12). Upaya Lintas Sektor Wujudkan Net Zero Emission. Katadata.Com. <https://katadata.co.id/jeany/infografik/618de5a185893/upaya-lintas-sektor-wujudkan-net-zero-emission>
- Ali Mas'at. (2009). Urban Development Effect to Air Temperature in Jakarta Area. Agromet, 23(1). <https://doi.org/10.29244/j.agromet.23.1.52-60>
- Allam, Z., Bibri, S. E., Chabaud, D., & Moreno, C. (2022). The '15-Minute City' concept can shape a net-zero urban future. In Humanities and Social Sciences Communications (Vol. 9, Issue 1). Springer Nature. <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01145-0>
- Benton-Short, L., Keeley, M., & Rowland, J. (2019). Green infrastructure, green space, and sustainable urbanism: geography's important role. Urban Geography, 40(3), 330–351. <https://doi.org/10.1080/02723638.2017.1360105>
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. In Ecological Economics (Vol. 29). [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
- Borgschulte, M., & Molitor, D. (2016). Labor Market and Program Participation Impacts of Health and Productivity Shocks: Evidence from Forest Fire Smoke. <https://doi.org/10.1177/0019793919845861>
- Cahyadi. (2011). KAJIAN TEKNIS PEMBANGKIT LISTRIK BERBAHAN BAKAR FOSSIL. JITE, 1(12), 21–32. <https://lontar.ui.ac.id/detail?id=20439639&lokasi=lokal>
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). Thermodynamics: An Engineering Approach 8th Edition Chapter 1 INTRODUCTION AND BASIC CONCEPTS. [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5464110/mod\\_book/chapter/23393/Thermodynamics%20an%20Engineering%20Approach.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5464110/mod_book/chapter/23393/Thermodynamics%20an%20Engineering%20Approach.pdf)
- Chang, T., Zivin, J. G., Gross, T., & Neidell, M. (2016). Particulate pollution and the productivity of pear packers. American Economic Journal: Economic Policy, 8(3), 141–169. <https://doi.org/10.1257/pol.20150085>
- Chen, S., Oliva, P., Zhang, P., Li, M., & Tower, K. S. (2018). Air Pollution and Mental Health: Evidence from China. [http://www.who.int/features/factfiles/mental\\_health/en/](http://www.who.int/features/factfiles/mental_health/en/).
- Chen, S., & Zhang, D. (2021). Impact of air pollution on labor productivity: Evidence from prison factory data. China Economic Quarterly International, 1(2), 148–159. <https://doi.org/10.1016/j.ceqi.2021.04.004>



- Chen, Y., Lin, J., Roland-Holst, D., Liu, X., & Wang, C. (2023). Declining Renewable Costs, Emissions Trading, and Economic Growth: China's Power System at the Crossroads. *Energies*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/en16020656>
- Chertow, M. R. (2000). INDUSTRIAL SYMBIOSIS: Literature and Taxonomy. [www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org)
- CNCA. (2018). Framework for Long-Term Deep Carbon Reduction Planning Developed for the Carbon Neutral Cities Alliance. [www.carbonneutralcities.org](http://www.carbonneutralcities.org)
- Commission on Environment, W. (n.d.). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Towards Sustainable Development 2. Part II. Common Challenges Population and Human Resources 4. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- Darmanto, N. S., Varquez, A. C. G., Kawano, N., & Kanda, M. (2019). Future urban climate projection in a tropical megacity based on global climate change and local urbanization scenarios. *Urban Climate*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100482>
- Dasrul Chaniago, & Annisa Zahara. (2020, July 31). PEMANTAUAN MUTU UDARA AMBIEN DENGAN METODE PASSIVE SAMPLER. <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/pemantauan-mutu-udara-ambien-dengan-metode-passive-sampler>
- De Smith, M. J., Goodchild, M. F., & Longley, P. (2018). Geospatial analysis : a comprehensive guide to principles, techniques and software tools (6th ed.). [https://books.google.co.id/books/about/Geospatial\\_Analysis.html?id=SULMdT8qPwEC&redir\\_esc=y](https://books.google.co.id/books/about/Geospatial_Analysis.html?id=SULMdT8qPwEC&redir_esc=y)
- Dini Pramita. (2023, June 20). Buruknya Polusi Udara, Alarm untuk Sektor Kesehatan dan Ekonomi. [Katadata.Co.Id. https://katadata.co.id/dinipramita/indepth/64914e0d2ec44/buruknya-polusi-udara-alarm-untuk-sektor-kesehatan-dan-ekonomi?page=all](https://katadata.co.id/dinipramita/indepth/64914e0d2ec44/buruknya-polusi-udara-alarm-untuk-sektor-kesehatan-dan-ekonomi?page=all)
- Dzulfiqar Fathur Rahman. (2022, August 8). Sumber Polusi Udara PM2.5 di Provinsi DKI Jakarta. [Databoks. https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/08/08/ini-sektor-penyumbang-polusi-udara-pm25-di-jakarta](https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/08/08/ini-sektor-penyumbang-polusi-udara-pm25-di-jakarta)
- Erlina F. Santika. (2023). Rata-rata Harian Kualitas Udara Jakarta. [Databoks. https://databoks.katadata.co.id/index.php/datapublish/2023/10/25/meski-sudah-diguyur-hujan-kualitas-udara-jakarta-masih-buruk](https://databoks.katadata.co.id/index.php/datapublish/2023/10/25/meski-sudah-diguyur-hujan-kualitas-udara-jakarta-masih-buruk)
- Ervianto, W. I. (2018). KAJIAN TENTANG KOTA BERKELANJUTAN DI INDONESIA (STUDI KASUS KOTA YOGYAKARTA). 16, 60–65. <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/jmts/article/view/4995>
- G. Tyler Miller, & Scott E. Spoolman. (2016). Living in the Environment. [www.cengage.com](http://www.cengage.com)
- Graff Zivin, J., & Neidell, M. (2012). The Impact of Pollution on Worker Productivity. 102(7), 3652–3673. <https://doi.org/10.1257/aer>
- Handayani, K., & Anugrah, P. (2021). Assessing the implications of net-zero emissions pathways: An analysis of the Indonesian power sector. *ICT-PEP 2021 - International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power: Emerging Energy Sustainability, Smart Grid, and Microgrid Technologies for Future Power System*, Proceedings, 270–275. <https://doi.org/10.1109/ICT-PEP53949.2021.9600954>
- Hanna, R., & Oliva, P. (2015). The effect of pollution on labor supply: Evidence from a natural experiment in Mexico City. *Journal of Public Economics*, 122, 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2014.10.004>
- Harris, S., Weinzettel, J., Bigano, A., & Källmén, A. (2020). Low carbon cities in 2050? GHG emissions of European cities using production-based and consumption-based emission accounting methods. *Journal of Cleaner Production*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119206>
- IPCC. (2022). Global Warming of 1.5°C. In *Global Warming of 1.5°C*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940>
- IQAir. (2023). Kualitas udara di Jakarta. <https://www.iqair.com/id/indonesia/jakarta>

- Jorn Verbeeck. (2023). Net Zero Urban Program. <https://kpmg.com/xx/en/home/insights/2022/10/net-zero-urban-program.html>
- Judy L. Baker. (2012). Climate Change, Disaster Risk, and the Urban Poor. [www.worldbank.org/urban](http://www.worldbank.org/urban)
- Permen LHK RI No 14, (2020). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/163466/permen-lhk-no-14-tahun-2020>
- Permen LHK RI No 27, (2021). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/235366/permen-lhk-no-27-tahun-2021>
- Permen LH No 12, (2010). <https://jdih.menlhk.go.id/new2/home/portfolioDetails/12/2010/9>
- Kirsten M. Parris. (2016). Ecology of Urban Environments. <https://www.wiley.com/en-au/Ecology+of+Urban+Environments-p-9781444332643>
- KUSMANA, C. (2015, December 31). Keanekaragaman hayati (biodiversitas) sebagai elemen kunci ekosistem kota hijau. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010801>
- Lazear, E. P. (2000). Performance Pay and Productivity (Vol. 90, Issue 5). <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.90.5.1346>
- Lecture, R. T. E., Stern, N., Anderson, D., Bowen, A., Catovsky, S., Diamond, P., Dietz, S., Fankhauser, S., Floater, G., Garbett, S. L., Garnaut, R., Guesnerie, R., Heal, G., Hawellek, D., Henry, C., Hepburn, C., Joskow, P., Landau, J.-P., Mirrlees, J., ... Weitzman, M. (2008). The Economics of Climate Change. In American Economic Review: Papers & Proceedings (Vol. 98, Issue 2). <http://www.aeaweb.org/articles.php?doi=10.1257/aer.98.2.1>
- Liao, W., Li, D., Malyshev, S., Shevliakova, E., Zhang, H., & Liu, X. (2021). Amplified Increases of Compound Hot Extremes Over Urban Land in China. Geophysical Research Letters, 48(6). <https://doi.org/10.1029/2020GL091252>
- Lovett, G. M., Tear, T. H., Evers, D. C., Findlay, S. E. G., Cosby, B. J., Dunscomb, J. K., Driscoll, C. T., & Weathers, K. C. (2009). Effects of air pollution on ecosystems and biological diversity in the eastern United States. In Annals of the New York Academy of Sciences (Vol. 1162, pp. 99–135). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04153.x>
- Lwasa, S., K.C. Seto, X. Bai, H. Blanco, K.R. Gurney, Ş. Kılıç, O. Lucon, J. Murakami, J. Pan, A. Sharifi, & Y. Yamagata. (2023). Urban Systems and Other Settlements. In Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change (pp. 861–952). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.010>
- Maantay, J., Foreword, J. Z., & Pickles, J. (2006). URBAN GIS for the. [https://www.researchgate.net/profile/Juliana-Maantay/publication/318708035\\_GIS\\_for\\_the\\_Urban\\_Environment/links/5978b3a2a6fcc30bdc31df1/GIS-for-the-Urban-Environment.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juliana-Maantay/publication/318708035_GIS_for_the_Urban_Environment/links/5978b3a2a6fcc30bdc31df1/GIS-for-the-Urban-Environment.pdf)
- Mestika Zed. (2008). Metode penelitian kepustakaan (2nd ed.). <https://books.google.co.id/books?id=zG9sDAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=id#v=onepage&q&f=false>
- Millennium Ecosystem Assessment (Program). (2005). Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Monavia Ayu Rizaty. (2021, September 9). 5 Ancaman Terbesar pada Keanekaragaman Hayati . Databoks. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/09/09/5-ancaman-terbesar-pada-keanekaragaman-hayati-di-bumi>
- Moran, M. J. and S. H. N. (2006). Fundamentals of Engineering Thermodynamics (5th ed.). John Wiley & Sons, Inc. <https://www.arma.org.au/wp-content/uploads/2017/03/Fundamentals-of-Engineering-Thermodynamics-by-Michael-J.Moran-Howard-N.-Shapiro.pdf>
- Mungkasa, O. (2009). Jakarta: Masalah dan Solusi. <https://www.researchgate.net/publication/343167777>
- Nabilah Muhamad. (2023, August 23). Persepsi Responden tentang Sumber Pencemaran Udara di Lingkungannya. Databoks.

- <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/08/23/apa-sumber-pencemaran-udara-di-indonesia-ini-pendapat-warga>
- Nafas. (2023, October 30). Polusi Udara 2022 vs 2023. <https://nafas.co.id/>
- National Center for Atmospheric Research. (2023). Weather Research & Forecasting Model (WRF). <https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>
- Obobisa, E. S. (2022). Achieving 1.5 °C and net-zero emissions target: The role of renewable energy and financial development. *Renewable Energy*, 188, 967–985. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.056>
- PT PLN (PERSERO). (2022). LEADING THE WAY TO EMPOWER THE NATION 2022. [https://www.idx.co.id/StaticData/NewsAndAnnouncement/ANNOUNCEMENTSTOCK/From EREP/202305/a92298bd67\\_68f18c7178.pdf](https://www.idx.co.id/StaticData/NewsAndAnnouncement/ANNOUNCEMENTSTOCK/From EREP/202305/a92298bd67_68f18c7178.pdf)
- Regufe, M. J., Pereira, A., Ferreira, A. F. P., Ribeiro, A. M., & Rodrigues, A. E. (2021). Current developments of carbon capture storage and/or utilization—looking for net-zero emissions defined in the paris agreement. In *Energies* (Vol. 14, Issue 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en14092406>
- Revi, A., Satterthwaite, D. E., Aragón-Durand, F., Corfee-Morlot USA, J., Kiunsi, R. B., da Silva, J., Dodman, D., Maskrey, A., Pahwa Gajjar, S., Balbus, J., Cardona, O.-D., Sverdlík, A., Barros, V., Dokken, D., Mach, K., Bilir, T., Chatterjee, M., Ebi, K., Estrada, Y., ... MacCracken, S. (2014). *Urban areas Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. William Solecki. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap8\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap8_FINAL.pdf)
- Roseland, M. (1997). Dimensions of the eco-city. In *Cities* (Vol. 14, Issue 4). [https://doi.org/10.1016/S0264-2751\(97\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S0264-2751(97)00003-6)
- Seto, K. C. (2023). Strategies for Smart Net Zero Carbon. *The Bridge*, 53(1), 15–21. [www.nae.edu/TheBridge](http://www.nae.edu/TheBridge).
- Seto, K. C., Churkina, G., Hsu, A., Keller, M., Newman, P. W. G., Qin, B., & Ramaswami, A. (2021). Annual Review of Environment and Resources From Low-to Net-Zero Carbon Cities: The Next Global Agenda. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-050120>
- Shahbaz, M., Nasir, M. A., Hille, E., & Mahalik, M. K. (2020). UK's net-zero carbon emissions target: Investigating the potential role of economic growth, financial development, and R&D expenditures based on historical data (1870–2017). *Technological Forecasting and Social Change*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120255>
- Sienna Bishop. (2023, July 5). A deep dive on the economic impacts of air pollution. <https://www.clarity.io/blog/a-deep-dive-economic-impacts-of-air-pollution>
- Siti Nurhaliza. (2023, June 8). Jakarta to increase urban green spaces in fight against pollution. ANTARA. <https://en.antaranews.com/news/284466/jakarta-to-increase-urban-green-spaces-in-fight-against-pollution>
- The World Bank. (2011). Jakarta: Tantangan Perkotaan Seiring Perubahan Iklim. <https://www.worldbank.org/in/news/feature/2011/11/03/jakarta-urban-challenges-in-a-changing-climate>
- UNECE. (n.d.). Air pollution, ecosystems and biodiversity. Retrieved October 29, 2023, from <https://unece.org/air-pollution-ecosystems-and-biodiversity>
- UNEP. (2021). Smart, Sustainable and Resilient cities: the Power of Nature-based Solutions. <https://www.unep.org/resources/report/smart-sustainable-and-resilient-cities-power-nature-based-solutions>
- UN-HABITAT. (2022). Envisaging the Future of Cities. [https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr\\_2022.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf)
- United Nations. (n.d.). Causes and Effects of Climate Change. Retrieved October 30, 2023, from <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>
- United Nations Environment Programme, & I. R. P. (2018). The Weight of Cities\_ Resource Requirements of Future Urbanization - Summary for Policymakers. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/31624>
- Unnes. (2015, October). PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap). <https://blog.unnes.ac.id/handisurya/2015/10/14/pltgu-pembangkit-listrik-tenaga-gas-dan-uap/>

- Wiedmann, T., Chen, G., Owen, A., Lenzen, M., Doust, M., Barrett, J., & Steele, K. (2021). Three-scope carbon emission inventories of global cities. *Journal of Industrial Ecology*, 25(3), 735–750. <https://doi.org/10.1111/jiec.13063>
- Yunus, H. S. (2015). *Manajemen kota perspektif spasial*. Pustaka Pelajar. <https://onsearch.id/Record/IOS3.NADAR-03120000000420>
- Zameer, H., Wang, Y., & Saeed, M. R. (2021). Net-zero emission targets and the role of managerial environmental awareness, customer pressure, and regulatory control toward environmental performance. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 4223–4236. <https://doi.org/10.1002/bse.2866>
- Zhang, X., Chen, X., & Zhang, X. (2018). The impact of exposure to air pollution on cognitive performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(37), 9193–9197. <https://doi.org/10.1073/pnas.1809474115>

**Biografi Penulis**

**NIKO ABDILLAH**, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia.

- Email: [niko.abdillah@gmail.com](mailto:niko.abdillah@gmail.com)
- ORCID:
- Web of Science ResearcherID:
- Scopus Author ID:
- Homepage: