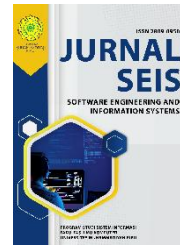




e-ISSN: 2809-0950



## TINJAUAN LITERATUR AI UNTUK PEMANTAUAN KUALITAS UDARA: INOVASI *GOOGLE PROJECT AIR VIEW*

Eko Prasetio Widhi<sup>1\*</sup>, Firlana Umi Azzakiy<sup>2</sup>, Mar'ah Rofidah Abidah Khosyatullah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Darussalam Gontor  
email: [ekoprasetiowidhi@unida.gontor.ac.id](mailto:ekoprasetiowidhi@unida.gontor.ac.id) \*

<sup>2</sup>Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Darussalam Gontor  
email: [firlanaumiazzakiy96@student.cs.unida.gontor.ac.id](mailto:firlanaumiazzakiy96@student.cs.unida.gontor.ac.id)

<sup>3</sup>Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Darussalam Gontor  
email: [marahabidahkhosyatullah68@student.cs.unida.gontor.ac.id](mailto:marahabidahkhosyatullah68@student.cs.unida.gontor.ac.id)

### Abstract

*Air pollution is an environmental problem that has a significant impact on public health and ecosystems. As technology develops, artificial intelligence (AI) has become an important tool in improving the effectiveness and efficiency of air quality monitoring. This article presents a literature review on the utilization of AI in air quality monitoring, focusing on the innovation of Google Project Air View. This technology uses Google Street View vehicles equipped with advanced sensors to generate real-time, high-resolution air quality data. Through big data analysis and machine learning algorithms, the system is able to map concentrations of pollutants such as carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) more accurately than traditional static sensor-based methods. The article also discusses the advantages of AI technologies, including integration with IoT, application of UAVs, edge computing, and big data-based predictive models, and their impact in supporting public policy and sustainable urban planning. Despite challenges in the implementation of these technologies, such as the need for complex infrastructure and data validation, the potential for AI to address air pollution challenges remains great. This article concludes that further development on AI-based systems can provide significant benefits to global air quality management and support greener development.*

**Keywords:** Artificial Intelligence, Air Quality Monitoring, Google Project Air View, IoT, Big Data, Sustainable Urban Planning

### Abstrak

Polusi udara merupakan salah satu masalah lingkungan yang berdampak signifikan terhadap kesehatan masyarakat dan ekosistem. Seiring perkembangan teknologi, *kecerdasan buatan (AI)* telah menjadi alat penting dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemantauan kualitas udara. Artikel ini menyajikan tinjauan literatur tentang pemanfaatan AI dalam pemantauan kualitas udara, dengan fokus pada inovasi *Google Project Air View*. Teknologi ini menggunakan kendaraan *Google Street View* yang dilengkapi sensor canggih untuk menghasilkan data kualitas udara secara *real-time* dengan resolusi tinggi. Melalui analisis data besar dan algoritma pembelajaran mesin, sistem ini mampu memetakan konsentrasi polutan seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), dan partikel halus (PM<sub>2.5</sub>) secara lebih akurat dibandingkan metode tradisional berbasis sensor statis. Artikel ini juga membahas keunggulan teknologi AI, termasuk integrasi dengan IoT, penerapan UAV, *edge computing*, dan model prediktif berbasis data besar, serta dampaknya dalam mendukung kebijakan publik dan perencanaan kota berkelanjutan. Meskipun terdapat tantangan dalam implementasi teknologi ini, seperti kebutuhan akan infrastruktur yang kompleks dan validasi data, potensi AI untuk mengatasi tantangan polusi udara tetap besar. Artikel ini menyimpulkan bahwa pengembangan lebih lanjut pada sistem berbasis AI dapat memberikan manfaat signifikan bagi pengelolaan kualitas udara global dan mendukung pembangunan yang lebih ramah lingkungan.

**Keywords:** Kecerdasan Buatan, Pemantauan Kualitas Udara, *Google Project Air View*, IoT, Data Besar, Perencanaan Kota Berkelanjutan.

## PENDAHULUAN

Kualitas udara merupakan salah satu isu lingkungan paling mendesak di era modern (Octaviano et al., 2022). Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), polusi udara menyebabkan lebih dari 7 juta kematian setiap tahun akibat penyakit pernapasan dan kardiovaskular yang dipicu oleh paparan jangka panjang terhadap partikel polutan (Rahim & Camin, 2018). Selain itu, polusi udara juga berdampak signifikan pada perubahan iklim (Manisalidis et al., 2020), memperburuk kondisi lingkungan global, dan menurunkan kualitas hidup masyarakat (Kampa & Castanas, 2008), terutama di kawasan perkotaan. Kota-kota besar seperti Jakarta, New Delhi, dan Beijing menghadapi tantangan berat dalam mengelola kualitas udara, mengingat peningkatan pesat dalam aktivitas kendaraan bermotor dan industri (Haryanto, 2018; Hong et al., 2019; Kaur & Pandey, 2021).

Seiring dengan perkembangan teknologi, inovasi dalam bidang *kecerdasan buatan (AI) dan Internet of Things (IoT)* telah menawarkan solusi untuk mengatasi tantangan pemantauan kualitas udara (Dhingra et al., 2019; Gowda, 2022; Kulikova et al., 2023; Mani et al., 2021; Pandiarajan et al., 2024; Zhang & Woo, 2020). Teknologi ini memungkinkan pengumpulan data secara *real-time*, analisis yang lebih mendalam, dan prediksi kualitas udara di masa depan. Salah satu inovasi yang menonjol dalam bidang ini adalah *Google Project Air View*, yang memanfaatkan kendaraan *Google Street View* yang dilengkapi dengan sensor canggih untuk mengukur dan memetakan polusi udara secara dinamis (Messier, Chambliss, Gani, Alvarez, Brauer, Choi, Hamburg, Kerckhoffs, LaFranchi, et al., 2018).

*Project Air View* memanfaatkan teknologi *AI* untuk mengolah data besar yang diperoleh dari sensor, menghasilkan informasi kualitas udara yang sangat presisi. Inovasi ini tidak hanya mendukung upaya mitigasi polusi udara tetapi juga memberikan data yang relevan bagi pembuat kebijakan untuk merancang solusi berbasis data. Sebagai contoh, data yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengidentifikasi area dengan tingkat polusi tinggi dan menentukan langkah-langkah yang diperlukan untuk meningkatkan kualitas udara di wilayah tersebut (Messier, Chambliss, Gani, Alvarez, Brauer, Choi, Hamburg, Kerckhoffs, LaFranchi, et al., 2018).

Kajian literatur ini bertujuan untuk mengulas berbagai penelitian terkait pemanfaatan kecerdasan buatan dalam pemantauan kualitas udara, dengan fokus pada inovasi *Google Project Air View* sebagai studi kasus utama. Kajian ini juga membahas peran teknologi *AI* dan *IoT* dalam mendukung kota berkelanjutan serta tantangan dan peluang yang dihadapi dalam implementasi teknologi ini. Dengan demikian, kajian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mendalam mengenai potensi teknologi

modern dalam mengatasi salah satu isu lingkungan global yang paling kritis.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kajian literatur (*literature review*) yang bertujuan untuk mengumpulkan, menganalisis, dan mensintesis berbagai sumber informasi terkait pemanfaatan *kecerdasan buatan* dalam pemantauan kualitas udara. Adapun tahapan metodologi yang diterapkan adalah sebagai berikut:

### 1. Identifikasi Sumber Literatur

Sumber literatur yang relevan diidentifikasi dari basis data akademik seperti *Google Scholar*, *IEEE Xplore*, *ScienceDirect*, dan perpustakaan digital universitas. Kata kunci yang digunakan meliputi: "*AI* untuk pemantauan kualitas udara," "*Google Project Air View*," "*IoT* dan polusi udara," dan "teknologi berbasis sensor."

### 2. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Literatur yang dipilih adalah publikasi dalam lima tahun terakhir untuk memastikan relevansi dan aktualitas. Fokus diberikan pada penelitian yang mengulas inovasi teknologi *AI*, *IoT*, dan implementasi *Google Project Air View*.

### 3. Pengorganisasian Literatur

Literatur yang diperoleh dikelompokkan berdasarkan tema utama: (1) Teknologi *AI* dalam pemantauan kualitas udara, (2) Sistem *IoT* dan jaringan sensor, (3) Studi kasus *Google Project Air View*, dan (4) Tantangan dan peluang teknologi.

### 4. Analisis dan Sintesis Data

Setiap literatur dianalisis untuk mencatat temuan utama, metodologi yang digunakan, dan kontribusi terhadap bidang ini. Temuan dari berbagai sumber disintesis untuk mengidentifikasi tren, kesenjangan penelitian, dan rekomendasi pengembangan di masa depan.

### 5. Pengutipan dan Referensi

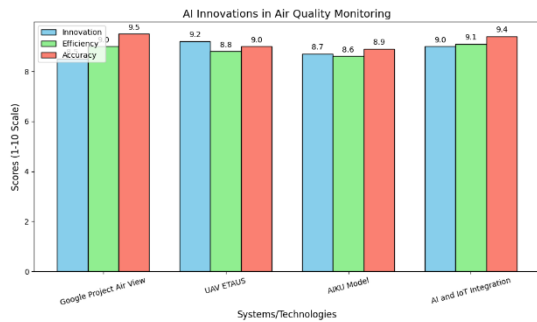
Semua literatur dikutip menggunakan gaya penulisan APA edisi ke-7 untuk memastikan konsistensi dan mematuhi standar akademik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, analisis difokuskan pada pemanfaatan *kecerdasan buatan (AI)* dalam pemantauan kualitas udara, termasuk inovasi, efisiensi, dan akurasi sistem yang digunakan. Beberapa teknologi mutakhir, seperti *Google Project Air View*, *UAV ETAUS*, dan *AIKU Model*, telah diterapkan untuk menghasilkan data kualitas udara dengan resolusi tinggi dan kecepatan pemrosesan yang lebih baik dibandingkan metode konvensional.

Guna memberikan gambaran yang lebih jelas, grafik di bawah ini menyajikan perbandingan tiga aspek utama: inovasi, efisiensi, dan akurasi dari masing-masing teknologi. Grafik ini menggambarkan kontribusi setiap teknologi dalam meningkatkan

efektivitas pemantauan kualitas udara, serta menunjukkan potensi dan tantangan yang masih perlu diatasi.



Gambar 1 AI Innovations in Air Quality Monitoring

Gambar 1 di atas menunjukkan perbandingan inovasi, efisiensi, dan akurasi dari beberapa sistem atau teknologi AI yang digunakan dalam pemantauan kualitas udara. Metrik ini menggambarkan seberapa baik teknologi seperti *Google Project Air View*, *UAV ETAUS*, *AIKU Model*, dan *integrasi AI dengan IoT* dalam memenuhi kebutuhan pemantauan kualitas udara.

Pada bagian ini, hasil penelitian mengenai pemanfaatan *kecerdasan buatan (AI)* dalam pemantauan kualitas udara akan dijelaskan secara rinci. Berbagai teknologi dan pendekatan inovatif yang telah diimplementasikan untuk meningkatkan akurasi, efisiensi, serta dampak kebijakan akan disoroti. Pembahasan akan dimulai dengan pengenalan teknologi utama, diikuti oleh analisis inovasi, efisiensi sistem, dan dampaknya terhadap pengambilan keputusan serta kebijakan publik.

Gambar yang disajikan dalam bagian ini bertujuan untuk memberikan ilustrasi visual yang mendukung temuan penelitian. Informasi yang disampaikan mencakup perbandingan teknologi, tren data polusi udara, dan prediksi kualitas udara menggunakan AI. Berikut ini adalah aspek-aspek yang memberikan wawasan yang lebih jelas tentang manfaat dan tantangan yang dihadapi.

**a. Penggunaan AI dalam Pemantauan kualitas udara.**

Pemanfaatan *kecerdasan buatan (AI)* dalam pemantauan kualitas udara telah membawa berbagai inovasi yang signifikan. Salah satu contohnya adalah *Google Project Air View* yang menggunakan teknologi AI untuk memproses data besar dari kendaraan *Google Street View*, menghasilkan peta kualitas udara dengan resolusi tinggi. Teknologi ini menggunakan algoritma pembelajaran mesin untuk menganalisis konsentrasi polutan seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), dan partikel halus (PM2.5), memungkinkan penyajian data yang lebih detail dibandingkan metode tradisional berbasis sensor statis.

**b. Inovasi dan Keunggulan AI dalam pemantauan kualitas Udara**

Pemanfaatan *kecerdasan buatan (AI)* dalam pemantauan kualitas udara telah menghadirkan berbagai inovasi yang signifikan. Salah satu contohnya adalah sistem UAV ETAUS yang menggunakan kendaraan udara tak berawak (UAV) dilengkapi AI tepi dengan kemampuan adaptasi mandiri dan pencitraan hiperspektral. Sistem ini memanfaatkan *model CNN* untuk mengklasifikasikan tingkat *indeks kualitas udara (AQI)* secara langsung dan akurat tanpa memerlukan platform komputasi pusat (Huang et al., 2024). Selain itu, penerapan teknologi 5G dan edge computing memungkinkan penyebaran sensor berkepadatan tinggi dengan resolusi tinggi dan latensi ultra rendah. Teknologi ini juga mendukung kalibrasi sensor berbiaya rendah dan pemrosesan gambar dari kamera hiperspektral untuk deteksi kualitas udara yang lebih baik (Su et al., 2021).

Model AIKU merupakan contoh lain yang mengintegrasikan algoritma pembelajaran mesin dengan sensor lingkungan, sehingga dapat memprediksi kualitas udara secara real-time dengan tingkat akurasi dan kecepatan yang lebih baik dibandingkan metode tradisional (Manongga et al., 2024). Di sisi lain, penggabungan teknologi AI dan *Internet of Things (IoT)* memberikan kontribusi penting melalui penggunaan sensor mikro berbiaya rendah yang meningkatkan presisi jaringan sensor dalam pemantauan partikulat (C. T. Yang et al., 2021). Analisis geospasial yang dipadukan dengan AI juga memberikan keunggulan dalam pemantauan kualitas udara di area perkotaan, memungkinkan prediksi parameter kualitas udara dengan akurasi tinggi sekaligus meningkatkan efektivitas pemantauan (ANDREI & IOANID, 2023).

**c. Efisiensi dan Akurasi Sistem**

*Google Project Air View* telah membuktikan kemampuannya dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi pemantauan polusi udara dibandingkan metode tradisional. Dengan memanfaatkan teknologi *IoT*, jaringan sensor, dan komputasi awan, sistem ini mampu menyediakan informasi polusi udara secara *real-time* dan dinamis. Salah satu keunggulannya adalah kemampuan pengukuran dengan resolusi spasial yang tinggi menggunakan mobil *Google Street View* yang dilengkapi dengan platform pengukuran cepat. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi pola polusi stabil dan variabilitas kecil di tingkat lokal, yang tidak dapat dicapai oleh metode stasioner (Apte et al., 2017; Messier, Chambliss, Gani, Alvarez, Brauer, Choi, Hamburg, Kerckhoffs, Lafranchi, et al., 2018; Solomon et al., 2020).

Pendekatan *mobile monitoring* yang digunakan oleh sistem ini memungkinkan pengumpulan data polutan seperti NO, NO<sub>2</sub>, dan karbon hitam dengan resolusi temporal dan spasial tinggi (Apte et al., 2017; Messier, Chambliss, Gani, Alvarez, Brauer, Choi, Hamburg, Kerckhoffs, Lafranchi, et al., 2018;

Solomon et al., 2020). Selain itu, kombinasi pendekatan data-only dan *model regresi* penggunaan *lahan-kriging* (LUR-K) digunakan untuk memprediksi tingkat polusi di lokasi yang tidak teramati, memberikan wawasan yang lebih mendalam meskipun tidak menangkap semua variabilitas (Messier, Chambliss, Gani, Alvarez, Brauer, Choi, Hamburg, Kerckhoffs, Lafranchi, et al., 2018). Penggunaan data besar juga memainkan peran penting dalam memetakan polusi udara dengan presisi tinggi, memungkinkan pembuatan peta polusi *real-time* dan prakiraan kualitas udara jangka pendek (Guan et al., 2020).

#### d. Dampak dan Implikasi

Data dari *Google Project Air View* mendukung pengambilan keputusan berbasis data untuk perencanaan kota yang berkelanjutan dan kebijakan lingkungan (Guan et al., 2020; Sabedotti et al., 2023). Di kota seperti Kopenhagen, informasi dari proyek ini telah mendorong keterlibatan publik dan memengaruhi pembuat kebijakan untuk lebih memperhatikan isu polusi udara (Dalsgaard & Tyge Haarløv, 2023).

#### e. Dampak pada Pengambilan Keputusan dan Kebijakan

Data yang dihasilkan oleh *Google Project Air View* memainkan peran penting dalam mendukung kebijakan publik terkait pengelolaan kualitas udara. Pemerintah kota dapat memanfaatkan data ini untuk lebih akurat mengidentifikasi wilayah dengan tingkat polusi tinggi dan merancang kebijakan yang lebih efektif. Salah satu kontribusinya adalah dalam identifikasi wilayah polusi tinggi, yang memungkinkan pemerintah kota untuk menetapkan prioritas intervensi, seperti penerapan zona rendah emisi atau pengembangan ruang hijau di area yang paling terpengaruh (Apte et al., 2017; Sabedotti et al., 2023).

Data yang lebih rinci ini juga membantu dalam merancang kebijakan transportasi ramah lingkungan yang lebih efektif. Misalnya, data dari *Google Project Air View* dapat digunakan untuk mengidentifikasi hotspot polusi di jalan-jalan dengan lalu lintas tinggi, memungkinkan penyesuaian kebijakan transportasi untuk mengurangi emisi di area tersebut (Apte et al., 2017; Guan et al., 2020). Selain itu, penyediaan informasi real-time tentang kualitas udara dapat meningkatkan kesadaran publik dan pemahaman masyarakat mengenai lingkungan mereka. Hal ini mendorong partisipasi warga dalam upaya pengurangan polusi, memperkuat keterlibatan masyarakat dalam kebijakan lingkungan (Guan et al., 2020).

Data dari *Google Project Air View*, bersama dengan partisipasi publik, telah mendorong pembuat kebijakan di beberapa kota untuk lebih terbuka terhadap ketidakpastian ilmiah baru yang muncul dari data ini. Dengan kemampuan untuk melengkapi

metode pengukuran yang sudah ada, data ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis teknologi dapat meningkatkan kualitas kebijakan pengelolaan kualitas udara (Dalsgaard & Tyge Haarløv, 2023).

#### f. Potensi Pengembangan Lebih Lanjut

Keberhasilan *Google Project Air View* menunjukkan potensi besar dalam pengembangan sistem pemantauan kualitas udara yang lebih canggih dan inklusif di berbagai kota di dunia. Teknologi ini membuka peluang untuk mengintegrasikan data dari berbagai sumber, seperti *drone* dan perangkat *mobile* berbasis *AI*, guna meningkatkan cakupan dan akurasi pemantauan. Penggunaan sensor *mobile*, seperti yang diterapkan pada kendaraan *Google Street View*, memungkinkan pengukuran polusi udara dengan resolusi spasial yang sangat tinggi. Hal ini memberikan informasi rinci tentang paparan polusi di tingkat jalanan dan memungkinkan pembuatan peta polusi udara secara real-time, memberikan manfaat besar untuk perencanaan kota yang lebih baik (Apte et al., 2017; Guan et al., 2020; Messier, Chambliss, Gani, Alvarez, Brauer, Choi, Hamburg, Kerckhoffs, Lafranchi, et al., 2018).

Selain itu, integrasi dengan teknologi *drone*, seperti yang diterapkan dalam sistem pemantauan ARMS, memungkinkan pembuatan peta kualitas udara yang lebih rinci dan akurat. Penggunaan *drone* memberikan efisiensi dalam konsumsi daya dan memungkinkan pemantauan di area yang sulit dijangkau, serta kemampuan untuk beradaptasi dengan perubahan kondisi lingkungan (Y. Yang et al., 2018). Pendekatan prediktif dan adaptif yang mengandalkan *model metalearning* dan *land use regression-kriging* (LUR-K) dapat lebih meningkatkan akurasi pemantauan dengan data minimal, memungkinkan sistem beradaptasi dengan kondisi baru dan memprediksi kualitas udara di lokasi yang belum terpantau (Liu et al., 2022).

Penggunaan analitik visual dan platform multi-sensor juga dapat memfasilitasi analisis data besar, yang sangat berguna untuk mendukung pengambilan keputusan. Dengan metode visual berbasis peta dan kalender, analisis ini memungkinkan identifikasi pola polusi udara secara linear dan periodik, memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang distribusi dan tren polusi (Du et al., 2017).

#### SIMPULAN DAN SARAN

Pemanfaatan kecerdasan buatan dalam pemantauan kualitas udara, seperti yang diimplementasikan dalam *Google Project Air View*, menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan sistem pemantauan tradisional. Dengan akurasi yang lebih tinggi dan kemampuan untuk memproses data secara *real-time*, *AI* dapat menjadi alat yang kuat dalam mengatasi tantangan polusi udara dan mendukung pembangunan berkelanjutan. Integrasi teknologi ini

tidak hanya mendukung pengambilan keputusan berbasis data tetapi juga membantu masyarakat memahami dinamika polusi udara dengan lebih baik, memungkinkan langkah-langkah mitigasi yang lebih efektif di masa depan.

### TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini. Penghargaan yang setinggi-tingginya diberikan kepada institusi, lembaga penelitian, dan penyedia data yang telah memberikan akses dan dukungan selama proses pengumpulan literatur. Tidak lupa, apresiasi juga diberikan kepada rekan-rekan sejawat yang telah memberikan masukan berharga dalam penyusunan artikel ini. Semoga karya ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan solusi terhadap masalah lingkungan global.

### DAFTAR PUSTAKA

- ANDREI, N., & IOANID, A. (2023). POTENTIAL USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND GEOSPATIAL ANALYSIS IN ENVIRONMENTAL MONITORING: Air quality in a large city. *Towards Increased Business Resilience: Facing Digital Opportunities and Challenges*, 369–376. <https://doi.org/10.56177/11icmie2023.31>
- Apte, J. S., Messier, K. P., Gani, S., Brauer, M., Kirchstetter, T. W., Lunden, M. M., Marshall, J. D., Portier, C. J., Vermeulen, R. C. H., & Hamburg, S. P. (2017). High-Resolution Air Pollution Mapping with Google Street View Cars: Exploiting Big Data. *Environmental Science and Technology*, 51(12), 6999–7008. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00891>
- Dalsgaard, S., & Tyge Haarløv, R. (2023). Mobilising Uncertainties in Air Pollution Science in Copenhagen. *STS Encounters*, 15(2). <https://doi.org/10.7146/stse.v15i2.139809>
- Dhingra, S., Mada, R. B., Gandomi, A. H., Patan, R., & Daneshmand, M. (2019). Internet of things mobile-air pollution monitoring system (IoT-Mobair). *IEEE Internet of Things Journal*, 6(3), 5577–5584. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2903821>
- Du, Y., Ma, C., Wu, C., Xu, X., Guo, Y., Zhou, Y., & Li, J. (2017). A visual analytics approach for station-based air quality data. *Sensors (Switzerland)*, 17(1), 30. <https://doi.org/10.3390/s17010030>
- Gowda, V. H. K. M. (2022). A PEER-TO-PEER AIR QUALITY MONITORING SYSTEM USING IOT SENSORS AND CLOUD PLATFORMS. *TMP Universal Journal of Research and Review Archives*, 1(2). <https://doi.org/10.69557/ujra.v1i2.110>
- Guan, Y., Johnson, M. C., Katzfuss, M., Mannshardt, E., Messier, K. P., Reich, B. J., & Song, J. J. (2020). Fine-Scale Spatiotemporal Air Pollution Analysis Using Mobile Monitors on Google Street View Vehicles. *Journal of the American Statistical Association*, 115(531), 1111–1124. <https://doi.org/10.1080/01621459.2019.1665526>
- Haryanto, B. (2018). Climate Change and Urban Air Pollution Health Impacts in Indonesia. In *Springer Climate* (pp. 215–239). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61346-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61346-8_14)
- Hong, C., Zhang, Q., Zhang, Y., Davis, S. J., Tong, D., Zheng, Y., Liu, Z., Guan, D., He, K., & Schellnhuber, H. J. (2019). Impacts of climate change on future air quality and human health in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(35), 17193–17200. <https://doi.org/10.1073/pnas.1812881116>
- Huang, C. H., Chen, W. T., Chang, Y. C., & Wu, K. T. (2024). An Edge and Trustworthy AI UAV System With Self-Adaptivity and Hyperspectral Imaging for Air Quality Monitoring. *IEEE Internet of Things Journal*, 11(20), 32572–32584. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3422470>
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, 151(2), 362–367. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012>
- Kaur, R., & Pandey, P. (2021). Air Pollution, Climate Change, and Human Health in Indian Cities: A Brief Review. *Frontiers in Sustainable Cities*, 3. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.705131>
- Kulikova, E., Sulimin, V., & Shvedov, V. (2023). Artificial intelligence for ambient air quality control. *E3S Web of Conferences*, 419, 03011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341903011>
- Liu, N., Wu, Z., Li, G., Liu, X., Wang, Y., & Zhang, L. (2022). MAIC: Metalearning-Based Adaptive In-Field Calibration for IoT Air Quality Monitoring System. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(17), 15928–15941. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3150849>
- Mani, G., Viswanadhappalli, J. K., & Sriramalakshmi, P. (2021). AI powered IoT based Real-Time Air Pollution Monitoring and Forecasting. *Journal of Physics: Conference Series*, 2115(1), 012016. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2115/1/012016>
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>

- Manongga, D., Rahardja, U., Sembiring, I., Aini, Q., & Wahab, A. (2024). Improving the Air Quality Monitoring Framework Using Artificial Intelligence for Environmentally Conscious Development. *HighTech and Innovation Journal*, 5(3), 794–813. <https://doi.org/10.28991/HIJ-2024-05-03-017>
- Messier, K. P., Chambliss, S. E., Gani, S., Alvarez, R., Brauer, M., Choi, J. J., Hamburg, S. P., Kerckhoffs, J., Lafranchi, B., Lunden, M. M., Marshall, J. D., Portier, C. J., Roy, A., Szpiro, A. A., Vermeulen, R. C. H., & Apte, J. S. (2018). Mapping Air Pollution with Google Street View Cars: Efficient Approaches with Mobile Monitoring and Land Use Regression. *Environmental Science and Technology*, 52(21), 12563–12572. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03395>
- Messier, K. P., Chambliss, S. E., Gani, S., Alvarez, R., Brauer, M., Choi, J. J., Hamburg, S. P., Kerckhoffs, J., Lafranchi, B., Lunden, M. M., Marshall, J. D., Portier, C. J., Roy, A., Szpiro, A. A., Vermeulen, R. C. H., & Apte, J. S. (2018). Mapping Air Pollution with Google Street View Cars: Efficient Approaches with Mobile Monitoring and Land Use Regression. *Environmental Science & Technology*, 52(21), 12563–12572. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03395>
- Octaviano, A., Sofiana, S., Agustino, D. O., & Rosyani, P. (2022). Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Internet O Things. *KLIK: Kajian Ilmiah Informatika Dan Komputer*, 3(2), 147–156. <https://djournals.com/klik>
- Pandiarajan, S., Premkumar, S., Ezhavarasan, B., & Raja Shree, S. G. (2024). IoT-Based Air Quality Navigation System for Vulnerable Populations. *Proceedings of 2024 International Conference on Science, Technology, Engineering and Management, ICSTEM 2024*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSTEM61137.2024.10560650>
- Rahim, F., & Camin, Y. R. (2018). Kondisi Kualitas Udara (So<sub>2</sub>, No<sub>2</sub>, Pm<sub>10</sub> Dan Pm<sub>2,5</sub>) Di Dalam Rumah Di Sekitar Cilegon Dan Gangguan Pernapasan Yang Diakibatkannya. *Al-Kaunyah: Jurnal Biologi*, 11(2), 82–90. <https://doi.org/10.15408/kaunyah.v11i2.5710>
- Sabedotti, M. E. S., O'Regan, A. C., & Nyhan, M. M. (2023). Data Insights for Sustainable Cities: Associations between Google Street View-Derived Urban Greenspace and Google Air View-Derived Pollution Levels. *Environmental Science and Technology*, 57(48), 19637–19648. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c05000>
- Solomon, P. A., Vallano, D., Lunden, M., Lafranchi, B., Blanchard, C. L., & Shaw, S. L. (2020). Mobile-platform measurement of air pollutant concentrations in California: Performance assessment, statistical methods for evaluating spatial variations, and spatial representativeness. In *Atmospheric Measurement Techniques* (Vol. 13, Issue 6, pp. 3277–3301). <https://doi.org/10.5194/amt-13-3277-2020>
- Su, X., Liu, X., Motlagh, N. H., Cao, J., Su, P., Pellikka, P., Liu, Y., Petaja, T., Kulmala, M., Hui, P., & Tarkoma, S. (2021). Intelligent and Scalable Air Quality Monitoring with 5G Edge. *IEEE Internet Computing*, 25(2), 35–44. <https://doi.org/10.1109/MIC.2021.3059189>
- Yang, C. T., Chen, H. W., Chang, E. J., Kristiani, E., Nguyen, K. L. P., & Chang, J. S. (2021). Current advances and future challenges of AIoT applications in particulate matters (PM) monitoring and control. *Journal of Hazardous Materials*, 419, 126442. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126442>
- Yang, Y., Zheng, Z., Bian, K., Song, L., & Han, Z. (2018). Real-Time Profiling of Fine-Grained Air Quality Index Distribution Using UAV Sensing. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(1), 186–198. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2777820>
- Zhang, D., & Woo, S. S. (2020). Real Time Localized Air Quality Monitoring and Prediction through Mobile and Fixed IoT Sensing Network. *IEEE Access*, 8, 89584–89594. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2993547>