



KECERDASAN BUATAN UNTUK MANAJEMEN ENERGI DAN MANAJEMEN LINGKUNGAN MENUJU KOTA PINTAR

Stephanus Wirawan Dharmatanna^{1*}, Elvina Shanggrama Wijaya¹,
Angela Jasmine Tanya Tjahyana²

Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Kristen Petra¹

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Kristen Petra²

E-mail: stephanus.dharmatanna@petra.ac.id¹

Abstract

Urbanisation has given pressure on urban energy systems and environmental quality, demanding efficient, adaptive and integrative approaches. Conventional management remains sectoral in most cases, treating the systems separately and thus, limiting holistic decision making. Within the smart cities framework, artificial intelligence (AI) has appeared as a key technology for managing complex and real time urban data, and providing responses that are predictive and adaptive. The role of AI in energy and urban environmental management were examined through a narrative literature review of the last five years' publications. The review synthesizes AI applications in the energy management, environmental monitoring, and cross sector system integration, highlighting the shift from reactive to predictive use in the city's management. Finding shows that AI is still sectorly specific implemented. Integrated approaches, such as data fusion, decision support system and digital twin are still limited but show a great potential for holistic urban management. The study also identifies key challenges in developing cities, including the availability of the infrastructure, data interoperability, the readiness of the human resource and other concerns. This paper proposes strategic directions for a phased, high impact AI adoption to support adaptive, efficient and sustainable smart cities development.

Keyword: Artificial Intelligence, Urban Energy, Environmental Management, Smart Cities

Abstrak

Urbanisasi telah memberikan dampak tekanan pada sistem energi kota dan kualitas lingkungan, yang mengakibatkan kebutuhan akan pendekatan yang efisien, adaptif dan integratif untuk menanganinya. Sistem pengelolaan konvensional biasanya memisahkan sektor per sektor, yang berakibat membatasi pembuatan keputusan yang holistik. Menggunakan kerangka berpikir smart city, artificial intelligence (AI) telah menjadi teknologi kunci untuk mengelola data kota yang kompleks dan real time, serta memberikan respon yang prediktif dan adaptif. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari peran AI tersebut dengan menggunakan metode literature review naratif dari publikasi lima tahun terakhir. Studi ini mensintesis penggunaan AI dalam manajemen energi, proses monitoring lingkungan dan integrasi lintas sektor, serta menggarisbawahi perubahan penggunaan AI dari reaktif ke prediktif. Studi ini menemukan bahwa AI lebih sering digunakan per sektor spesifik. Penggunaan AI secara integratif seperti pada data fusion, decision support system dan digital twin masih terbatas, namun menunjukkan potensi besar untuk pengelolaan kota yang holistik. Beberapa tantangan dalam implementasi adalah ketersediaan infrastruktur data interoperability dan kesiapan sumber daya manusia, selain pertimbangan lain. Paper ini menunjukkan arah strategis untuk penggunaan AI secara bertahap untuk mendukung perkembangan kota yang adaptif, efisien dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Kecerdasan Buatan, Energi Perkotaan, Pengelolaan Lingkungan, Kota Cerdas

Info Artikel :

Diterima: 2026-01-13

Revisi: 2026-03-10

Disetujui: 2026-03-14

PENDAHULUAN

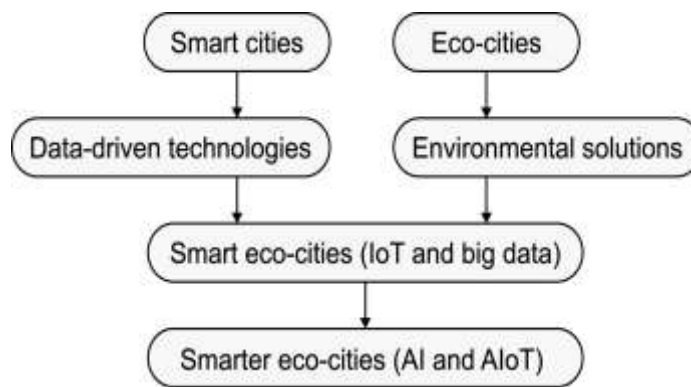
Meningkatnya pergerakan urbanisasi secara global telah memberikan tekanan signifikan terhadap sektor energi dan lingkungan di kawasan perkotaan. Kota-kota di seluruh dunia tengah menghadapi tantangan berupa eskalasi konsumsi energi serta risiko bencana lingkungan, fenomena *Urban Heat Island*, dan degradasi kualitas udara di wilayah urban (Parihar & Birman, 2024; Varma et al., 2021). Kondisi tersebut menuntut adanya pendekatan manajemen perkotaan yang tidak hanya efisien tetapi juga adaptif terhadap perubahan dinamika lingkungan serta kompleksitas kebutuhan komunitas urban yang terus berkembang, salah satunya melalui implementasi *green roof* sebagai solusi desain yang berwawasan lingkungan (Kawuwung & Purwanto, 2023).

Pendekatan konvensional dalam manajemen energi dan lingkungan perkotaan umumnya beroperasi secara sektoral, statis, dan reaktif (Bittencourt et al., 2024), dimana sistem energi dan lingkungan sering kali dikelola secara terfragmentasi, sehingga aspek konektivitas antar sektor kurang mendapat pertimbangan dalam proses pengambilan keputusan (Lund, 2024). Hasilnya, berbagai kebijakan dan strategi manajemen perkotaan belum teroptimalkan untuk mencapai efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan sebagai satu kesatuan yang terintegrasi (Klemm & Wiese, 2022). Konsep *Smart City* yang menitikberatkan pada pemanfaatan data dan teknologi digital sebagai pendekatan baru hadir sebagai solusi atas keterbatasan tersebut, guna mendukung tata kelola perkotaan yang lebih efisien, cerdas, dan berkelanjutan.

Kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) diimplementasikan sebagai teknologi fundamental dalam kerangka *Smart City*, khususnya dalam pengelolaan data urban masif yang bersifat kompleks dan *real time* (Alahi et al., 2023; Bibri et al., 2023; Kanase-Patil et al., 2020). Studi terdahulu berfokus pada kontribusi utilisasi AI bagi tata kelola perkotaan, seperti melakukan kalkulasi dan optimasi terhadap beban serta konsumsi energi (Farzaneh et al., 2021; Zamponi et al., 2022) hingga pada monitoring kualitas udara (Iskandaryan et al., 2020), deteksi dini kebakaran (Reddy et al., 2024), maupun prediksi banjir (Zabihi et al., 2023). Terlepas dari meningkatnya jumlah penelitian tersebut, berbagai studi menunjukkan bahwa implementasi AI masih bersifat parsial dan terbatas pada satu sektor spesifik saja.

Beberapa pendekatan terkini memposisikan AI sebagai komponen dari sistem yang adaptif di lingkungan perkotaan (Yigitcanlar et al., 2020) yang terintegrasi dengan pemanfaatan *Big Data*, *Internet of Things (IoT)*, dan sistem pengambilan keputusan (*decision support system*) (Bibri et al., 2023), seperti yang terlihat pada Gambar 1. Dalam proses integrasi tersebut, AI tidak hanya difungsikan sebagai instrumen analisis, melainkan juga berperan sebagai konektor antara sistem energi dan lingkungan dalam sebuah kerangka kerja manajemen perkotaan berbasis data (Stecula et al., 2023). Pendekatan ini membuka peluang bagi terciptanya sistem manajemen perkotaan yang memiliki kapabilitas adaptivitas *real time*, serta mendukung proses pengambilan keputusan secara lebih holistik.

Meskipun demikian, aplikasi kecerdasan buatan (AI) dalam konteks *Smart City* yang ditemukan pada penelitian terdahulu masih menunjukkan sejumlah kesenjangan penelitian. Mayoritas peneliti mengkaji implementasi AI secara terfragmentasi, baik pada sektor energi maupun lingkungan secara terpisah, sementara studi mengenai integrasi kedua domain tersebut masih sangat terbatas. Lebih lanjut, kajian mengenai hambatan implementasi AI, seperti keterbatasan infrastruktur, kapabilitas sumber daya manusia, serta aspek etika dan regulasi, belum mendapatkan sorotan yang memadai, khususnya pada konteks kota-kota di negara berkembang.



Gambar 1. Integrasi antara *Smart and Eco-cities* yang menggunakan *AI and Big Data*
 Sumber: Bibri et al., 2023)

Berdasarkan kondisi tersebut, artikel ini bertujuan untuk mengkaji utilisasi AI dalam manajemen energi dan lingkungan perkotaan dalam kerangka konsep *Smart City* melalui metode studi literatur. Artikel ini akan memadukan berbagai temuan dari berbagai sumber literatur mengenai berbagai varian AI di bidang energi dan lingkungan, serta mengidentifikasi hambatan dan peluang implementasinya. Lebih lanjut, penelitian ini akan memberikan arah pengembangan perkotaan, dengan memposisikan Indonesia sebagai studi kasus untuk memetakan tantangan, peluang, serta visi strategis dalam tata kelola *Smart City* berbasis AI yang bersifat adaptif dan berkelanjutan.

METODOLOGI

Penelitian ini menerapkan metode studi literatur naratif untuk mengkaji pemanfaatan AI dalam sistem energi dan lingkungan perkotaan dalam konteks *Smart City*. Pendekatan ini dipilih guna memperoleh pemahaman komprehensif mengenai pengembangan konsep, aplikasi, serta tantangan implementasi AI dalam sistem manajemen perkotaan berbasis data.

Literatur dikumpulkan melalui eksplorasi basis data ilmiah, seperti *Google Scholar*, *Scopus*, dan *Web of Science*, dengan menggunakan kata kunci relevan: *artificial intelligence*, *smart city*, *urban energy management*, dan *environmental management*. Guna menjamin relevansi studi literatur, kategori artikel yang dianalisis dibatasi pada publikasi dalam rentang lima tahun terakhir.

Artikel-artikel tersebut kemudian diseleksi berdasarkan kesesuaian topik, kontribusi signifikan terhadap pengembangan konsep *smart city*, serta relevansinya dengan manajemen energi dan lingkungan perkotaan. Literatur terpilih diklasifikasikan ke dalam beberapa tema utama, yaitu: manajemen energi, manajemen lingkungan, dan integrasi sistem AI. Selanjutnya, dilakukan analisis konseptual deskriptif untuk mensintesis temuan utama, mengidentifikasi berbagai hambatan, serta merumuskan implikasi dan arah pengembangan bagi kota-kota di negara berkembang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Implementasi AI Dalam Manajemen Energi Perkotaan

Hasil tinjauan literatur menunjukkan bahwa implementasi AI dalam manajemen energi perkotaan berfokus pada peningkatan efisiensi, rehabilitasi, serta fleksibilitas sistem energi. Salah satu temuan utama penelitian ini adalah pemanfaatan AI dalam tata kelola *smart grid management* (Rind et al., 2023), terutama untuk melakukan prediksi serta penyeimbangan beban energi (Rojek et al., 2025). Algoritma *machine learning* memungkinkan akumulasi data konsumsi energi yang disertai dengan

analisisnya secara real time. Kapabilitas ini memungkinkan sistem kelistrikan untuk merespons fluktuasi permintaan secara lebih adaptif. Negara-negara seperti Singapura dan Korea Selatan telah memanfaatkan AI dalam tata kelola *smart grid* untuk meningkatkan cadangan pasokan listrik sekaligus mereduksi kehilangan energi pada jaringan distribusi (Almihat et al., 2025; Lee et al., 2024; Shafiullah et al., 2022).

Selain itu, melalui pengendalian sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) dan pencahayaan yang didasarkan pada data okupansi serta kondisi lingkungan, AI juga memiliki kapabilitas signifikan dalam mengoptimalkan konsumsi energi pada bangunan (Ali et al., 2024). Pendekatan ini telah menggeser paradigma manajemen energi bangunan dari sistem berbasis jadwal statis menuju sistem yang responsif terhadap perilaku pengguna. AI juga mendukung integrasi dan penggunaan energi terbarukan secara efektif, seperti fotovoltaik dan penyimpanan energi, dengan memungkinkan prediksi produksi energi serta optimalisasi pemanfaatannya (Rojek et al., 2023). Di sisi lain, pemeliharaan prediktif berbasis AI memungkinkan deteksi dini terhadap gangguan pada infrastruktur energi (Nayak et al., 2025), sehingga meningkatkan reliabilitas sistem sekaligus mereduksi biaya operasional.

2. Implementasi AI dalam Manajemen Lingkungan Perkotaan

Dalam sektor lingkungan perkotaan, hasil studi menunjukkan bahwa AI telah digunakan secara luas untuk pemantauan kondisi lingkungan dan mitigasi risiko. Pemantauan kualitas udara berbasis sensor yang dipadukan dengan model AI memungkinkan prediksi periode polusi, sehingga pemerintah kota dapat mengambil langkah-langkah preventif, seperti mengeluarkan anjuran untuk membatasi aktivitas luar ruangan, sebagaimana yang telah diterapkan di Seoul (Cho et al., 2024), dan negara tetangga kita, Singapura, yang telah mengintegrasikan data sensor dan model prediktif berbasis AI ke dalam sistem pemantauan kualitas udara nasionalnya untuk membantu masyarakat memahami kondisi lingkungan secara *real time* (Sunder et al., 2023). Transisi ini menandai pergeseran paradigma dari manajemen lingkungan yang bersifat reaktif menuju manajemen lingkungan yang bersifat prediktif.

Temuan lain menunjukkan penerapan AI dalam mendeteksi kebakaran melalui analisis citra CCTV berbasis *computer vision* (Özel et al., 2024; Reddy et al., 2024), demikian juga halnya dengan prediksi banjir menggunakan *machine learning* yang mengintegrasikan data hidrologi dan meteorologi (Chitwatkulsiri et al., 2023). Terlebih lagi, AI dimanfaatkan untuk mengendalikan fenomena *Urban Heat Island* (UHI) melalui pemetaan data termal dan kondisi vegetasi, guna mendukung perencanaan tata ruang kota yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim (Zhao et al., 2025; Liu et al., 2024; Shi et al., 2021). Dalam sektor manajemen limbah, AI diterapkan untuk mengoptimalkan rute pengangkutan sampah (Ahmed et al., 2024) dan untuk memprediksi volume limbah (Shahab et al., 2022), sehingga menghasilkan peningkatan efisiensi layanan sekaligus mereduksi emisi dari sektor transportasi.

3. Integrasi Sistem Energi dan Lingkungan Berbasis AI

Meskipun sektor energi dan lingkungan telah menggunakan AI secara pesat, sintesis dari tinjauan literatur menunjukkan bahwa integrasi antara kedua sektor tersebut masih terbatas, terlepas dari fakta bahwa keduanya saling terkait erat dalam konteks pembangunan perkotaan. Integrasi berbasis AI melalui skema *data fusion* dari IoT ke AI, serta sistem pendukung keputusan, telah muncul sebagai pendekatan yang menjanjikan untuk mengatasi fragmentasi tersebut (Hussain et al., 2024; Roldán-Gómez et al., 2022).

Konsep *digital twin* suatu kota telah menjadi manifestasi dari integrasi tersebut, yang memberikan peluang untuk melakukan simulasi dan evaluasi terpadu terhadap kebijakan energi dan lingkungan sebelum diimplementasikan di dunia nyata (Adreani et al., 2024; Al-Sehrawy et al., 2021). Lebih lanjut, sistem lintas sektor adaptif yang

bekerja secara *real time* memungkinkan respons simultan terhadap perubahan kondisi, seperti peningkatan kepadatan lalu lintas yang dapat dideteksi melalui sistem transportasi cerdas (*intelligent transportation systems*) (Musa et al., 2023), yang terkoneksi secara langsung dengan data kualitas udara (Díaz et al., 2020), sehingga memungkinkan sistem energi dan manajemen perkotaan untuk melakukan penyesuaian otomatis pada pengaturan pencahayaan jalan umum (Shavkatov, 2023), serta sistem ventilasi publik (Abdelkarim et al., 2023) maupun memberikan peringatan dini kesehatan publik (Caratù et al., 2023). Meskipun demikian, tantangan terkait interoperabilitas platform dan keamanan data tetap menjadi hambatan utama dalam pengembangan sistem AI yang terintegrasi. Pemerintah kota perlu memastikan bahwa sistem AI yang diterapkan bersifat akuntabel, adil, dan tidak memunculkan bias dalam proses pengambilan keputusan (Shafik, 2024; Zhou & Kankanhalli, 2021).

4. Tantangan dan Arah Pengembangan bagi Kota-Kota di Negara Berkembang

Tinjauan ini mengidentifikasi bahwa tantangan dalam mengimplementasikan AI di kota-kota negara berkembang mencakup aspek teknis maupun non teknis. Tantangan teknis meliputi keterbatasan infrastruktur sensor, kualitas dan konsistensi data, serta kompleksitas integrasi sistem. Sementara itu, tantangan non teknis melibatkan keterbatasan sumber daya manusia, tingginya biaya investasi awal, serta belum matangnya kerangka regulasi dan panduan etika dalam penggunaan AI untuk pelayanan publik.

Lebih jauh lagi, kota-kota di negara berkembang memiliki peluang signifikan untuk mengadopsi AI secara strategis, terutama melalui pengembangan *smart grids*, energi terbarukan, dan sistem analitik perkotaan. Implementasi bertahap dengan fokus pada aplikasi yang berdampak tinggi merupakan pendekatan yang realistis. Dalam konteks ini, Indonesia dapat diposisikan sebagai studi kasus yang inspiratif, dimana AI berpotensi bertindak sebagai katalisator transformasi menuju kota yang lebih adaptif, efisien, dan berkelanjutan. Pendekatan yang menekankan strategi “what next” ini menggarisbawahi pentingnya sinergi antara teknologi, kebijakan, dan kapasitas institusional dalam mewujudkan *smart city* berbasis AI.

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa AI memainkan peran strategis dalam konteks *smart city*, khususnya dalam mendukung sistem energi dan lingkungan perkotaan. Berdasarkan sintesis literatur, AI tidak lagi sekadar berfungsi sebagai alat analitik, melainkan telah berevolusi menjadi sistem adaptif yang mampu memproses data secara *real time*, menghasilkan prediksi, serta mendukung pengambilan keputusan perkotaan yang lebih responsif dan efisien. Penggunaan AI di sektor energi terbukti berkontribusi pada peningkatan efisiensi konsumsi daya dan integrasi kebaruan energi, sementara di sektor lingkungan, AI memainkan peran krusial dalam pemantauan, mitigasi risiko, serta adaptasi terhadap perubahan iklim di lingkungan urban.

Tinjauan ini juga mengindikasikan bahwa sebagian besar penelitian terdahulu masih bersifat sektoral, yang memperlakukan manajemen energi dan lingkungan sebagai bidang yang terpisah dan independen. Kebaruan dari studi ini terletak pada pendekatan integratifnya, yang menempatkan energi dan lingkungan sebagai satu kesatuan sistem perkotaan berbasis AI. Integrasi ini membuka peluang bagi pengembangan *smart city* yang tidak hanya efisien secara teknis, tetapi juga berkelanjutan secara lingkungan dan sosial, khususnya melalui pemanfaatan IoT, *big data*, dan sistem pendukung keputusan berbasis AI.

Meskipun demikian, implementasi AI dalam manajemen energi dan lingkungan perkotaan terus menghadapi berbagai tantangan, baik di ranah teknis maupun non

teknis. Keterbatasan infrastruktur data, interoperabilitas sistem, kesiapan sumber daya manusia, serta pertimbangan regulasi dan etika merupakan faktor-faktor kunci yang harus segera diatasi. Oleh karena itu, penerapan AI di kota-kota negara berkembang perlu dilakukan secara bertahap dengan mempertimbangkan aspek kontekstual secara penuh, serta memprioritaskan aplikasi berdampak tinggi yang selaras dengan kapabilitas lokal.

Sebagai arah pengembangan ke depan, penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengeksplorasi model integrasi lintas sektor yang lebih komprehensif, termasuk pengembangan *city digital twins* dan kerangka tata kelola AI untuk pelayanan publik. Melalui pendekatan tersebut, kecerdasan buatan berpotensi menjadi pilar fundamental dalam mewujudkan kota yang adaptif, prediktif, dan rendah emisi, sekaligus memberikan inspirasi bagi pengembangan konsep kota cerdas di negara-negara berkembang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelkarim, S. B., Ahmad, A. M., Ferwati, S., Naji, K., Abdelkarim, S. B., Ahmad, A. M., Ferwati, S., & Naji, K. (2023). Urban Facility Management Improving Livability through Smart Public Spaces in Smart Sustainable Cities. *Sustainability*, *15*(23). <https://doi.org/10.3390/su152316257>
- Adreani, L., Bellini, P., Fanfani, M., Nesi, P., & Pantaleo, G. (2024). Smart City Digital Twin Framework for Real-Time Multi-Data Integration and Wide Public Distribution. *IEEE Access*, *12*, 76277–76303. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3406795>
- Ahmed, K., Kumar Dubey, M., Kumar, A., & Dubey, S. (2024). Artificial intelligence and IoT driven system architecture for municipality waste management in smart cities: A review. *Measurement: Sensors*, *36*, 101395. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101395>
- Alahi, M. E. E., Sukkuea, A., Tina, F. W., Nag, A., Kurdthongmee, W., Suwannarat, K., Mukhopadhyay, S. C., Alahi, M. E. E., Sukkuea, A., Tina, F. W., Nag, A., Kurdthongmee, W., Suwannarat, K., & Mukhopadhyay, S. C. (2023). Integration of IoT-Enabled Technologies and Artificial Intelligence (AI) for Smart City Scenario: Recent Advancements and Future Trends. *Sensors*, *23*(11). <https://doi.org/10.3390/s23115206>
- Ali, D. M. T. E., Motuzienė, V., Džiugaitė-Tumėnienė, R., Ali, D. M. T. E., Motuzienė, V., & Džiugaitė-Tumėnienė, R. (2024). AI-Driven Innovations in Building Energy Management Systems: A Review of Potential Applications and Energy Savings. *Energies*, *17*(17). <https://doi.org/10.3390/en17174277>
- Almihat, M. G. M., Munda, J. L., Almihat, M. G. M., & Munda, J. L. (2025). The Role of Smart Grid Technologies in Urban and Sustainable Energy Planning. *Energies*, *18*(7). <https://doi.org/10.3390/en18071618>
- Al-Sehrawy, R., Kumar, B., & Watson, R. (2021). A digital twin uses classification system for urban planning & city infrastructure management. *Journal of Information Technology in Construction*, *26*(45), 832–362. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.045>
- Bibri, S. E., Alexandre, A., Sharifi, A., & Krogstie, J. (2023). Environmentally sustainable smart cities and their converging AI, IoT, and big data technologies and solutions: An integrated approach to an extensive literature review. *Energy Informatics*, *6*(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s42162-023-00259-2>
- Bittencourt, J. C. N., Costa, D. G., Portugal, P., & Vasques, F. (2024). A Survey on Adaptive Smart Urban Systems. *IEEE Access*, *12*, 102826–102850. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3433381>
- Caratù, M., Pigliatile, I., Piselli, C., & Fabiani, C. (2023). A perspective on managing cities and citizens' well-being through smart sensing data. *Environmental Science & Policy*, *147*, 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.06.012>
- Chitwatkulsiri, D., Miyamoto, H., Chitwatkulsiri, D., & Miyamoto, H. (2023). Real-Time Urban Flood Forecasting Systems for Southeast Asia—A Review of Present Modelling and Its Future Prospects. *Water*, *15*(1). <https://doi.org/10.3390/w15010178>
- Cho, E., Yoon, H., & Cho, Y. (2024). Evaluation of the impact of intensive PM2.5 reduction policy in Seoul, South Korea using machine learning. *Urban Climate*, *53*, 101778. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101778>

- Díaz, G., Macià, H., Valero, V., Boubeta-Puig, J., & Cuartero, F. (2020). An Intelligent Transportation System to control air pollution and road traffic in cities integrating CEP and Colored Petri Nets. *Neural Computing and Applications*, 32(2), 405–426. <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3850-1>
- Farzaneh, H., Malehmirchegini, L., Bejan, A., Afolabi, T., Mulumba, A., Daka, P. P., Farzaneh, H., Malehmirchegini, L., Bejan, A., Afolabi, T., Mulumba, A., & Daka, P. P. (2021). Artificial Intelligence Evolution in Smart Buildings for Energy Efficiency. *Applied Sciences*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/app11020763>
- Hussain, M., O’Nils, M., Lundgren, J., & Mousavirad, S. J. (2024). A Comprehensive Review on Deep Learning-Based Data Fusion. *IEEE Access*, 12, 180093–180124. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3508271>
- Iskandaryan, D., Ramos, F., Trilles, S., Iskandaryan, D., Ramos, F., & Trilles, S. (2020). Air Quality Prediction in Smart Cities Using Machine Learning Technologies Based on Sensor Data: A Review. *Applied Sciences*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/app10072401>
- Kanase-Patil, A. B., Kaldate, A. P., Lokhande, S. D., Panchal, H., Suresh, M., & Priya, V. (2020). A review of artificial intelligence-based optimization techniques for the sizing of integrated renewable energy systems in smart cities. *Environmental Technology Reviews*, 9(1), 111–136. <https://doi.org/10.1080/21622515.2020.1836035>
- Kawuwung, Y., & Purwanto, L. M. F. (2023). STRUKTUR ATAP GREEN DENGAN TEKNOLOGI RAMAH LINGKUNGAN. *Jurnal Arsitektur Kolaborasi*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.54325/kolaborasi.v3i1.35>
- Klemm, C., & Wiese, F. (2022). Indicators for the optimization of sustainable urban energy systems based on energy system modeling. *Energy, Sustainability and Society*, 12(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00323-3>
- Lee, J., Jung, Y., Lee, J., Shin, J., Cha, S., Song, S., Min, S., Moon, J., Hur, K., Choi, J., & Jang, G. (2024). South Korean Power System Operation and Renewable Integration: Using Artificial Intelligence Applications. *IEEE Power and Energy Magazine*, 22(6), 28–41. <https://doi.org/10.1109/MPE.2024.3411580>
- Liu, C., Lu, S., Tian, J., Yin, L., Wang, L., Zheng, W., Liu, C., Lu, S., Tian, J., Yin, L., Wang, L., & Zheng, W. (2024). Research Overview on Urban Heat Islands Driven by Computational Intelligence. *Land*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/land13122176>
- Lund, H. (2024). *Renewable Energy Systems: A Smart Energy Systems Approach to the Choice and Modeling of Fully Decarbonized Societies*. Elsevier.
- Musa, A. A., Malami, S. I., Alanazi, F., Ounaies, W., Alshammari, M., Haruna, S. I., Musa, A. A., Malami, S. I., Alanazi, F., Ounaies, W., Alshammari, M., & Haruna, S. I. (2023). Sustainable Traffic Management for Smart Cities Using Internet-of-Things-Oriented Intelligent Transportation Systems (ITS): Challenges and Recommendations. *Sustainability*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/su15139859>
- Nayak, A., Kalidoss, D. D., & Sharma, R. (2025). AI-Assisted Predictive Maintenance of Renewable Energy Infrastructure. *International Journal of Environmental Sciences*, 11(6s), 1–7. <https://doi.org/10.64252/qqdv1613>
- Özel, B., Alam, M. S., Khan, M. U., Özel, B., Alam, M. S., & Khan, M. U. (2024). Review of Modern Forest Fire Detection Techniques: Innovations in Image Processing and Deep Learning. *Information*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/info15090538>
- Parihar, J., & Birman, S. (2024). Heat Resilience in Urban Environments: Strategies for Sustainable City Climate Management. In P. Singh & N. Yadav (Eds.), *The Climate-Health-Sustainability Nexus: Understanding the Interconnected Impact on Populations and the Environment* (pp. 305–324). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-56564-9_12
- Reddy, P. D. K., Margala, M., Shankar, S. S., & Chakrabarti, P. (2024). Early fire danger monitoring system in smart cities using optimization-based deep learning techniques with artificial intelligence. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 10(2), 197–210. <https://doi.org/10.1007/s40860-024-00218-y>
- Rind, Y. M., Raza, M. H., Zubair, M., Mehmood, M. Q., Massoud, Y., Rind, Y. M., Raza, M. H., Zubair, M., Mehmood, M. Q., & Massoud, Y. (2023). Smart Energy Meters for Smart Grids, an Internet of Things Perspective. *Energies*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/en16041974>
- Rojek, I., Mikołajewski, D., Mroziński, A., Macko, M., Bednarek, T., Tyburek, K., Rojek, I., Mikołajewski, D., Mroziński, A., Macko, M., Bednarek, T., & Tyburek, K. (2025). Internet of Things Applications for Energy Management in Buildings Using Artificial Intelligence—A Case Study. *Energies*, 18(7). <https://doi.org/10.3390/en18071706>

- Rojek, I., Mikołajewski, D., Mroziński, A., Macko, M., Rojek, I., Mikołajewski, D., Mroziński, A., & Macko, M. (2023). Machine Learning- and Artificial Intelligence-Derived Prediction for Home Smart Energy Systems with PV Installation and Battery Energy Storage. *Energies*, 16(18). <https://doi.org/10.3390/en16186613>
- Roldán-Gómez, J. J., Garcia-Aunon, P., Mazariegos, P., & Barrientos, A. (2022). SwarmCity project: Monitoring traffic, pedestrians, climate, and pollution with an aerial robotic swarm. *Personal and Ubiquitous Computing*, 26(4), 1151–1167. <https://doi.org/10.1007/s00779-020-01379-2>
- Shafik, W. (2024). Ethical Use of Machine Learning Techniques in Smart Cities. In *Ethical Artificial Intelligence in Power Electronics*. CRC Press.
- Shafiullah, M., Rahman, S., Imteyaz, B., Aroua, M. K., Hossain, M. I., Rahman, S. M., Shafiullah, M., Rahman, S., Imteyaz, B., Aroua, M. K., Hossain, M. I., & Rahman, S. M. (2022). Review of Smart City Energy Modeling in Southeast Asia. *Smart Cities*, 6(1), 72–99. <https://doi.org/10.3390/smartcities6010005>
- Shahab, S., Anjum, M., Shahab, S., & Anjum, M. (2022). Solid Waste Management Scenario in India and Illegal Dump Detection Using Deep Learning: An AI Approach towards the Sustainable Waste Management. *Sustainability*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/su142315896>
- Shavkatov, S. (2023). Adaptive Illumination: Designing a Smart Street Lighting System for Sustainable Urban Environments. *MATRIX Academic International Online Journal Of Engineering And Technology*, 6(1), 18–32. <https://doi.org/10.21276/MATRIX.2023.6.1.3>
- Shi, H., Xian, G., Auch, R., Gallo, K., Zhou, Q., Shi, H., Xian, G., Auch, R., Gallo, K., & Zhou, Q. (2021). Urban Heat Island and Its Regional Impacts Using Remotely Sensed Thermal Data—A Review of Recent Developments and Methodology. *Land*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/land10080867>
- Stecula, K., Wolniak, R., Grebski, W. W., Stecula, K., Wolniak, R., & Grebski, W. W. (2023). AI-Driven Urban Energy Solutions—From Individuals to Society: A Review. *Energies*, 16(24). <https://doi.org/10.3390/en16247988>
- Sunder, M. S. S., Tikkiwal, V. A., Kumar, A., Tyagi, B., Sunder, M. S. S., Tikkiwal, V. A., Kumar, A., & Tyagi, B. (2023). Unveiling the Transparency of Prediction Models for Spatial PM2.5 over Singapore: Comparison of Different Machine Learning Approaches with eXplainable Artificial Intelligence. *AI*, 4(4), 787–811. <https://doi.org/10.3390/ai4040040>
- Varma, K., Srivastava, V., Singhal, A., & Jha, P. K. (2021). Urban and Environmental Hazards. In P. K. Rai, P. Singh, & V. N. Mishra (Eds.), *Recent Technologies for Disaster Management and Risk Reduction: Sustainable Community Resilience & Responses* (pp. 319–362). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76116-5_19
- Yigitcanlar, T., Cugurullo, F., Yigitcanlar, T., & Cugurullo, F. (2020). The Sustainability of Artificial Intelligence: An Urbanistic Viewpoint from the Lens of Smart and Sustainable Cities. *Sustainability*, 12(20). <https://doi.org/10.3390/su12208548>
- Zabihi, O., Siamaki, M., Gheibi, M., Akrami, M., & Hajiaghahi-Keshteli, M. (2023). A smart sustainable system for flood damage management with the application of artificial intelligence and multi-criteria decision-making computations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 84, 103470. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103470>
- Zamponi, M. E., Barbierato, E., Zamponi, M. E., & Barbierato, E. (2022). The Dual Role of Artificial Intelligence in Developing Smart Cities. *Smart Cities*, 5(2), 728–755. <https://doi.org/10.3390/smartcities5020038>
- Zhao, L., Fan, X., Hong, T., Zhao, L., Fan, X., & Hong, T. (2025). Urban Heat Island Effect: Remote Sensing Monitoring and Assessment—Methods, Applications, and Future Directions. *Atmosphere*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/atmos16070791>
- Zhou, Y., & Kankanhalli, A. (2021). AI Regulation for Smart Cities: Challenges and Principles. In E. Estevez, T. A. Pardo, & H. J. Scholl (Eds.), *Smart Cities and Smart Governance: Towards the 22nd Century Sustainable City* (pp. 101–118). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61033-3_