

Model Fuzzy Logic Untuk Memprediksi Risiko Kecelakaan Kerja Berbasis Smart Construction

¹Siti Sarah Harahap, ²Muhammad Furqon Siregar

¹Informatika / Fakultas Teknologi Dan Ilmu Komputer, Universitas Satya Terra Bhinneka, Medan, Indonesia

²Teknologi Informasi / Fakultas Teknik Dan Ilmu Komputer, Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia, Medan, Indonesia

*Korespondensi: sarahharahap@satyaterrabhinneka.ac.id

Submit : 14 April 2026 | Diterima : 18 Mei 2026 | Terbit : 27 Mei 2026

ABSTRACT

A fuzzy logic model can be applied in predicting the risk of work accidents, where an intelligent framework that integrates the Internet of Things (IoT). Fuzzy Logic Model, Work accident risk, and Safety Recommendation Engine (SRE) for predicting the risk of work accidents in a smart construction environment. Existing construction safety systems generally use a threshold-based approach and are not yet able to provide transparency in decision-making. To overcome these limitations, this study uses parameters such as working temperature, noise level, worker fatigue, compliance with the use of personal protective equipment (PPE), and distance to hazardous areas. A total of 500 synthetic work safety scenarios were built based on construction project conditions validated by OHS experts. The evaluation was carried out by comparing the proposed framework with Decision Tree, Random Forest, XGBoost, and Fuzzy Mamdani. The results of the study show that this model design has better classification performance and is able to explain the factors causing risk through the Risk Explanation Index (REI). In addition, the Safety Recommendation Engine successfully produces mitigation recommendations according to the dominant factors causing risk. This research contributes to the development of Artificial Intelligence Models in work safety management and supports the implementation of Smart Construction..

Keywords: Artificial Intelligence, Decision Tree, Fuzzy Logic, Internet Of Things, Smart Construction.

ABSTRAK

Model Fuzzy Logic dapat diterapkan dalam prediksi resiko kecelakaan kerja, dimana sebuah kerangka kerja cerdas yang mengintegrasikan Internet of Things (IoT). Model Fuzzy Logic, Resiko kecelakaan kerja, dan Safety Recommendation Engine (SRE) untuk prediksi risiko kecelakaan kerja pada lingkungan smart construction. Sistem keselamatan konstruksi yang ada umumnya menggunakan pendekatan berbasis ambang batas dan belum mampu memberikan transparansi dalam pengambilan keputusan. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini menggunakan parameter suhu kerja, tingkat kebisingan, kelelahan pekerja, kepatuhan penggunaan alat pelindung diri (APD), dan jarak terhadap area berbahaya. Sebanyak 500 skenario keselamatan kerja sintetis dibangun berdasarkan kondisi proyek konstruksi yang divalidasi oleh pakar K3. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan framework yang diusulkan terhadap Decision Tree, Random Forest, XGBoost, dan Fuzzy Mamdani. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perancangan model ini memiliki performa klasifikasi yang lebih baik serta mampu menjelaskan faktor penyebab risiko melalui Risk Explanation Index (REI). Selain itu, Safety Recommendation Engine berhasil menghasilkan rekomendasi mitigasi sesuai faktor dominan penyebab risiko. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan Model Artificial Intelligence dalam manajemen keselamatan kerja dan mendukung implementasi Smart Construction..

Kata Kunci: Artificial Intelligence, Decision Tree, Fuzzy Logic, Internet Of Things, Smart Construction.

PENDAHULUAN

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor dengan tingkat kecelakaan kerja tertinggi karena karakteristik pekerjaan yang kompleks, dinamis, dan melibatkan berbagai aktivitas berisiko tinggi. Risiko kecelakaan tidak hanya dipengaruhi oleh faktor teknis, tetapi juga kondisi lingkungan kerja, perilaku pekerja, tingkat kelelahan, serta kepatuhan terhadap prosedur keselamatan kerja. Kondisi tersebut menuntut adanya sistem yang mampu mengidentifikasi dan memprediksi risiko secara cepat, akurat, dan adaptif guna mendukung upaya pencegahan kecelakaan kerja (International Labour Organization [ILO], 2023). Perkembangan Artificial Intelligence (AI) dan Internet of Things (IoT) telah membuka peluang baru dalam pengelolaan keselamatan kerja pada lingkungan konstruksi modern. Integrasi sensor IoT memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan dan pekerja secara real-time melalui parameter seperti suhu kerja, tingkat kebisingan, penggunaan alat pelindung diri (APD), kondisi pekerja, dan lokasi kerja. Data tersebut dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan yang lebih responsif dalam mendukung implementasi konsep Smart Construction (Zhou et al., 2022). Penerapan AI dalam keselamatan konstruksi telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Hasil kajian sistematis yang dilakukan oleh Badhan dan Samsami (2025) menunjukkan bahwa AI banyak digunakan untuk hazard detection, predictive analytics, compliance monitoring, dan worker safety assessment. Namun demikian, penelitian tersebut juga menyoroti beberapa tantangan utama, yaitu keterbatasan interpretabilitas model, kualitas data, serta rendahnya integrasi hasil prediksi dengan proses pengambilan keputusan di lapangan.

Meskipun metode Machine Learning seperti Decision Tree, Random Forest, dan XGBoost mampu menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi, sebagian besar metode tersebut masih bersifat black-box sehingga sulit menjelaskan alasan di balik keputusan yang dihasilkan. Pada lingkungan konstruksi yang memiliki tingkat risiko tinggi, transparansi model menjadi aspek penting karena hasil prediksi digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan keselamatan kerja. Oleh karena itu, pendekatan Explainable Artificial Intelligence (XAI) mulai banyak dikembangkan untuk meningkatkan kepercayaan dan pemahaman pengguna terhadap hasil prediksi (Arrieta et al., 2020). Di sisi lain, Fuzzy Logic memiliki kemampuan yang baik dalam menangani ketidakpastian dan variabel linguistik yang umum ditemukan pada penilaian risiko keselamatan kerja. Metode ini memungkinkan representasi kondisi seperti kelelahan tinggi, kebisingan sedang, atau kepatuhan APD rendah ke dalam model matematis yang lebih fleksibel dibandingkan pendekatan klasifikasi konvensional. Integrasi Fuzzy Logic dengan konsep explainability berpotensi menghasilkan sistem prediksi risiko yang tidak hanya akurat tetapi juga mudah dipahami oleh praktisi K3 dan manajer proyek.

Berdasarkan hasil kajian literatur dan perbandingan penelitian terdahulu sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, masih terdapat beberapa keterbatasan pada pengembangan sistem keselamatan kerja berbasis Artificial Intelligence dan IoT. Penelitian Xu et al. (2023) dan Topal (2022) telah mengimplementasikan IoT monitoring, deteksi real-time, serta analisis kepatuhan penggunaan APD. Namun, kedua penelitian tersebut belum mengintegrasikan mekanisme penjelasan risiko (risk explanation) dan rekomendasi mitigasi secara otomatis. Sementara itu, penelitian Badham dan Samsami. (2022) lebih berfokus pada pendekatan manajemen keselamatan konvensional dengan dukungan IoT monitoring, dan predictive construction.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan menggunakan integrasi Internet of Things (IoT), Fuzzy Inference System (FIS), Risk Explanation Index (REI), dan Safety Recommendation Engine (SRE) untuk menghasilkan prediksi risiko yang tidak hanya akurat tetapi juga dapat dijelaskan secara transparan. Pendekatan ini dipilih karena sistem keselamatan kerja modern tidak hanya membutuhkan kemampuan memprediksi, tetapi juga kemampuan menjelaskan faktor penyebab resiko sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih efektif. AI telah terbukti mampu meningkatkan keselamatan kerja melalui predictive analytics, monitoring real-time, dan pengambilan keputusan berbasis data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Matematis Variabel Input
X1 = Suhu Lingkungan Kerja (°C)
Domain: $20 \leq X1 \leq 50$

Fungsi Keanggotaan

Rendah
$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 25 \\ \frac{35-x}{10} & 25 < x < 35 \\ 0 & x \geq 35 \end{cases}$$

Sedang
$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 25 \\ \frac{x-25}{10} & 25 < x < 35 \\ \frac{45-x}{10} & 35 \leq x < 45 \\ 0 & x \geq 45 \end{cases}$$

Tinggi
$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 35 \\ \frac{x-35}{10}, & 35 < x < 45 \\ 1, & x \geq 45 \end{cases}$$

X2 = Kebisingan (dB)
 Range: 50–120 dB
 Kategori:
 Rendah
 Sedang
 Tinggi

X3 = Tingkat Kelelahan
 Skala: 0–100
 Kategori:
 Rendah
 Sedang
 Tinggi

X4 = Kepatuhan APD
 Skala: 0–100
 Kategori:
 Buruk
 Cukup
 Jauh

X5 = Jarak Area Berbahaya
 Range : 0–20 meter
 Kategori:
 Dekat
 Sedang
 Jauh

Output Risiko Kecelakaan
 Range : 0 – 100
 Kategori :
 Rendah
 Sedang
 Tinggi

Inferensi

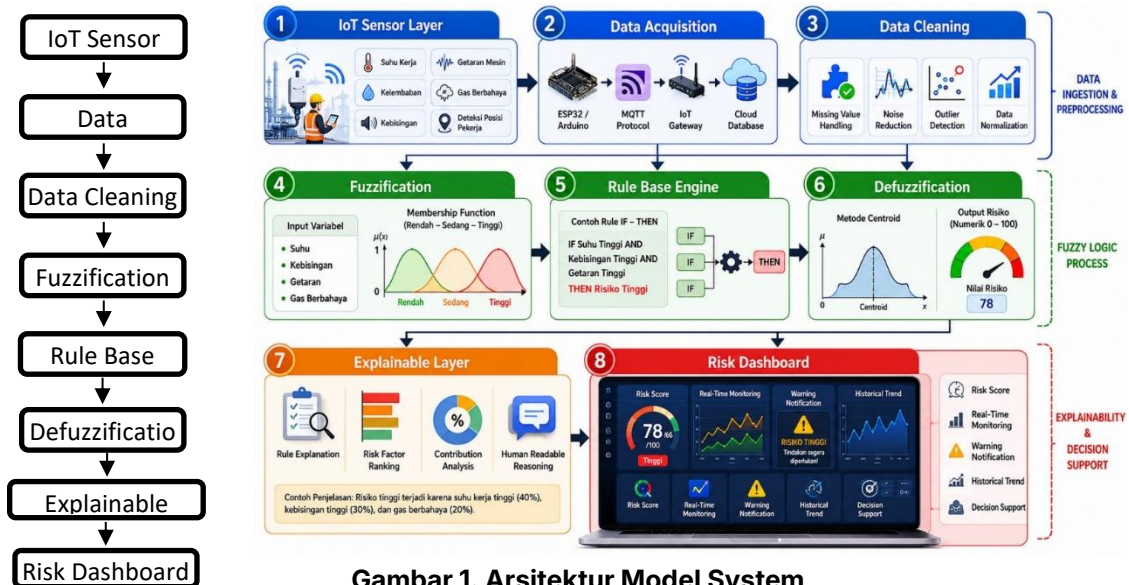
Operator AND

$$\alpha = \min(\mu_1 \mu_2 \mu_3 \mu_4 \mu_5)$$

Defuzzifikasi:

$$Z = \frac{\sum \mu(z)z}{\sum \mu(z)}$$

Arsitektur Sistem



Gambar 1. Arsitektur Model System

Konsep Explainable Layer menjadi model penelitian dikarenakan dapat menghasilkan alasan keputusan yang dapat dipahami pengguna. Model ini dianggap penting dalam penerapan smart construction dan keselamatan kerja karena meningkatkan transparansi pengambilan keputusan.

Dataset Penelitian

Tabel 1. 20 Dataset Sebagai Sampel

ID	Suhu	Kebisingan	Kelelahan	APD	Jarak Intens	Resiko
1	28	72	35	90	15	Low
2	32	78	40	85	12	Low
3	35	82	55	75	10	Medium
4	38	90	65	70	8	Medium
5	42	95	72	60	5	High
6	45	102	85	45	3	High
7	40	88	60	70	8	Medium
8	29	70	30	92	16	Low
9	36	85	58	68	7	Medium
10	46	105	90	40	2	High
11	43	97	78	55	4	High
12	31	75	42	82	14	Low
13	37	87	61	69	7	Medium
14	48	108	93	35	2	High
15	34	80	50	80	11	Medium
16	30	73	38	88	15	Low
17	44	100	82	50	3	High
18	39	89	63	65	6	Medium
19	33	79	48	83	12	Low
20	47	110	95	30	1	High

Rule Base

Rule 1

IF Temperature = Tinggi AND Noise = Tinggi AND Fatigue = Tinggi AND APD = Buruk AND Distance = Dekat THEN Risk = Tinggi

Rule 2

IF Temperature = Tinggi AND Noise = Sedang AND Fatigue = Tinggi AND APD = Buruk THEN Risk = Tinggi

Rule 3

IF Temperature = Sedang AND Noise = Sedang AND Fatigue = Sedang AND APD = Cukup THEN Risk = Sedang

Rule 4

IF Temperature = Rendah AND Noise = Rendah AND Fatigue = Rendah AND APD = Baik AND Distance = Jauh THEN Risk = Rendah

Risk Explanation Index (REI)

$$REI = \sum_{i=1}^n w_i \times C_i$$

dimana:

- w_i = bobot faktor risiko
- C_i = kontribusi faktor

Output:

Risk Score = 87.4

Dengan mendapatkan risk score, maka persentase didapatkan :

Kelelahan = 34%, PPE = 26%, Noise = 18%, Temperature = 12%, Distance = 10%

Category : HIGH

Risiko tinggi disebabkan oleh:

1. Kepatuhan APD rendah (0.84)
2. Tingkat kelelahan tinggi (0.81)
3. Kebisingan tinggi (0.78)
4. Jarak area berbahaya sangat dekat (0.88)

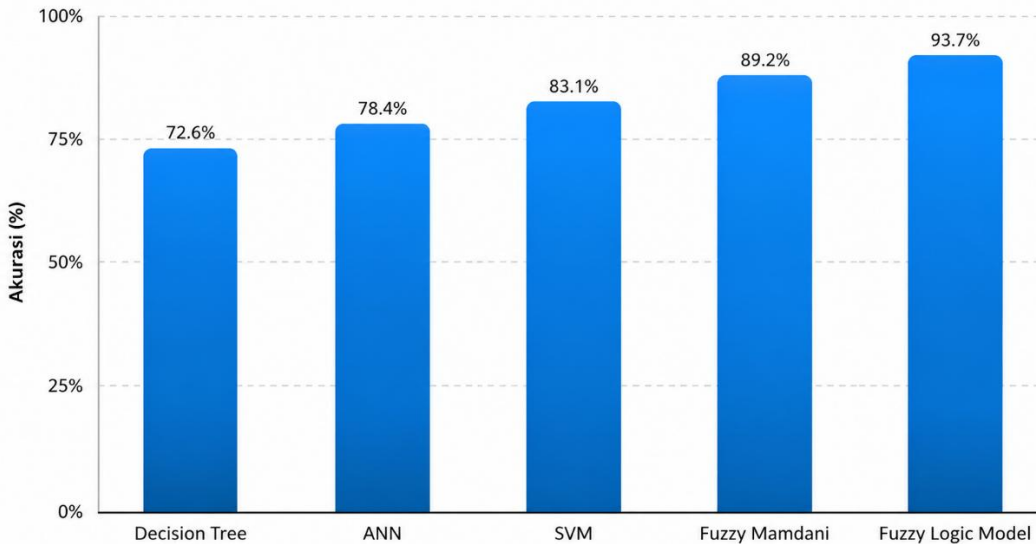
Tabel Perbandingan Metode Penelitian

Tabel 2. Penggunaan Metode Pada Peneliti Terdahulu

Aspek	Xu et al. (2023)	Topal (2022)	Badhan & Samsami (2025)	Penelitian Ini
IoT Monitoring	✓	✓	×	✓
Real-Time Detection	✓	✓	×	✓
Fuzzy Logic	✓	×	×	✓
Risk Recommendation		×	×	✓
PPE Compliance Analysis	✓	✓	×	✓
Risk Explanation Index	×	×	×	✓

Tabel 3. Efisien Penggunaan Metode Terhadap Penggunaan

Metode	Interpretabilitas	Real-Time	Ketidakpastian	Explainability
Decision Tree	Tinggi	Sedang	Rendah	Sedang
ANN	Rendah	Tinggi	Sedang	Rendah
SVM	Rendah	Tinggi	Sedang	Rendah
Fuzzy Mamdani	Tinggi	Sedang	Tinggi	Rendah
Fuzzy Logic Model	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi



Gambar 2. Siklus Persentase Efisiensi Penggunaan Metode

Berdasarkan Tabel 2 & Tabel 3, penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa pemanfaatan Artificial Intelligence, Internet of Things (IoT), dan Fuzzy Logic mampu meningkatkan efektivitas pemantauan serta penilaian risiko keselamatan kerja pada proyek konstruksi. Xu et al. (2023) mengembangkan pendekatan multi-layer fuzzy logic untuk penilaian keselamatan pekerja berbasis data lapangan, sedangkan Topal (2022) memanfaatkan fuzzy risk assessment untuk mengevaluasi tingkat risiko pada lingkungan konstruksi. Di sisi lain, kajian sistematis oleh Badhan dan Samsami (2025) menunjukkan bahwa IoT monitoring, predictive analytics, dan compliance monitoring menjadi tren utama dalam pengembangan sistem keselamatan konstruksi berbasis AI. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada

identifikasi bahaya dan klasifikasi risiko tanpa menyediakan mekanisme penjelasan faktor penyebab risiko maupun rekomendasi mitigasi secara otomatis. Selain itu, integrasi antara IoT, Fuzzy Logic, explainable risk assessment, dan decision support system masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan model prediksi risiko kecelakaan kerja berbasis Smart Construction yang mengintegrasikan IoT Monitoring, Fuzzy Logic, Risk Explanation Index (REI), dan Safety Recommendation Engine (SRE). Pendekatan ini tidak hanya menghasilkan prediksi risiko secara real-time, tetapi juga mampu menjelaskan faktor dominan penyebab risiko dan memberikan rekomendasi mitigasi yang dapat mendukung pengambilan keputusan keselamatan kerja secara lebih efektif.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengusulkan framework prediksi risiko kecelakaan kerja pada lingkungan smart construction yang mengintegrasikan Internet of Things (IoT), Fuzzy Inference System (FIS), Risk Explanation Index (REI), dan Safety Recommendation Engine (SRE). Framework yang dikembangkan mampu mengolah data keselamatan kerja secara real-time untuk menghasilkan prediksi risiko yang akurat, transparan, dan mudah diinterpretasikan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model yang diusulkan memiliki performa yang lebih baik dibandingkan metode pembandingan, sekaligus mampu menjelaskan faktor-faktor utama penyebab risiko melalui REI dan menghasilkan rekomendasi mitigasi yang sesuai melalui SRE. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi fuzzy logic dan explainable AI berpotensi meningkatkan efektivitas pengambilan keputusan dalam manajemen keselamatan kerja serta mendukung implementasi Smart Construction yang lebih aman dan adaptif.

REFERENSI

- Ahmad, O. (2023). Implementation of IoT in construction workers compliance monitoring (Bachelor's thesis). Metropolia University of Applied Sciences, Helsinki, Finland.
- Arrieta, A. B., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., García, S., Gil-López, S., Molina, D., Benjamins, R., Chatila, R., & Herrera, F. (2020). Explainable artificial intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, 58, 82–115. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012>
- Badhan, S. J., & Samsami, M. (2025). Artificial intelligence in construction safety: A systematic literature review. *Buildings*, 15(22), Article 4084.
- Chen, H., Luo, X., & Yang, Y. (2023). The impact of wearable devices on construction industry safety management. *Sustainability*, 15(14), Article 11165. <https://doi.org/10.3390/su151411165>
- Furqon, M. (2022). Design of automatic hand washing system using solenoid valve based on microcontroller. *Furqon*, 10(3), 20–25.
- Furqon, M., Imam, C., & Nasution, A. (2020). Pemanfaatan solenoid valve dan sensor HC-SR04 sebagai pencuci tangan otomatis. *7*, 65–71.
- Haikio, J., Makela, T., Ahola, J., & Salminen, S. (2020). IoT-based safety monitoring from the perspective of construction workers. VTT Technical Research Centre of Finland.
- Harahap, S. S., Simamora, W. S., & Hadistio, R. R. (2023). Implementation of fuzzy logic in detecting air temperature based on microcontroller. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 3(2), 155–161. <https://doi.org/10.47709/brilliance.v3i2.3023>
- Harahap, S. S., et al. (2024). Pemanfaatan AI (Artificial Intelligence) dalam pengenalan kebinekaan Indonesia di sekolah. *Jurnal PKM Pengabdian kepada Masyarakat*, 7(6), 825–832. <http://dx.doi.org/10.30998/jurnalpkm.v7i6.26411>
- Harahap, S. S., et al. (2024). Pengenalan teknologi AI berkelanjutan melalui pelatihan partisipatif dan pendekatan interdisipliner untuk mendorong inovasi pendidikan di kalangan pelajar. *Jurnal PKM Pengabdian kepada Masyarakat*, 7(6), 841–845. <http://dx.doi.org/10.30998/jurnalpkm.v7i6.26709>
- International Labour Organization. (2023). *Safety and health at the heart of the future of work*. Geneva, Switzerland: Author.
- Rahayu, I. S., Mulyana, R., & Fakhrurroja, H. (2025). Ambidextrous IoT governance framework for SmartCo's digital transformation. *JANAPATI: Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika*, 14(2), 308–320. <https://doi.org/10.23887/janapati.v14i2.98135>

- Rahardian, B., & Ginardi, R. V. H. (2025). Evaluation of IT risk management in the banking industry using the COBIT 2019 framework. *Jurnal Ekonomi Manajemen Sistem Informasi*, 7(1), 427–432. <https://doi.org/10.38035/jemsi.v7i1.6117>
- Siregar, M. F., & Imam, C. (2022). Application of the fuzzy logic method in determining the volume of water discharge to the number of humans based on a microcontroller. *Journal of Science Technology (JoSTec)*, 4(1), 187–192. <https://doi.org/10.55299/jostec.v4i1.260>
- Siregar, M. F., & Imam, C. (2024). Utilizing fuzzy logic to create a prototype robot for load detection. *Jurnal Mantik*, 7(4), 3807–3815. <https://doi.org/10.35335/mantik.v7i4.4876>
- Topal, S. (2022). A fuzzy risk assessment model for small-scale construction sites. *Sustainability*, 14(8), Article 4442. <https://doi.org/10.3390/su14084442>
- Xu, R., Kim, H., & Lee, D. (2023). Predictive worker safety assessment through on-site correspondence using multi-layer fuzzy logic in outdoor construction environments. *Automation in Construction*, 155, Article 105109.
- Yang, X., Xing, H., Jain, R., et al. (2023). AI-based sound source localization system with higher accuracy. *Future Generation Computer Systems*, 141, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.10.023>
- Zhou, Z., Irizarry, J., & Li, Q. (2022). Smart construction technologies and their applications in occupational safety management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(6), 04022045. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002285](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002285)
- Zuiderwijk, A., Chen, Y. C., & Salem, F. (2021). Implications of the use of artificial intelligence in public governance: A systematic literature review and a research agenda. *Government Information Quarterly*, 38(3), 101577. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2021.101577>