

SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PEMELIHARAAN PERKERASAN JALAN BERBASIS MULTI-KRITERIA BEBAN LALU LINTAS DAN IKLIM

Ahmad Fikri Hanif Siregar
Universitas Al Azhar Medan
Email: hanifsg4@gmail.com

ABSTRAK

Perkerasan jalan menghadapi tantangan multi-beban yang kompleks berupa beban lalu lintas, iklim ekstrem, dan fenomena Urban Heat Island (UHI) secara simultan. Penelitian ini menerapkan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) berbasis kerangka PICO yang diintegrasikan dengan teknik Data Mining bibliometrik menggunakan VOSviewer dan R-Studio, guna memetakan tren dan pola penelitian dari 50 artikel terindeks Scopus (2020–2026). Metode berbasis komputasi mencakup analisis co-occurrence kata kunci, network graph antar-node, dan density visualization untuk mengidentifikasi kluster topik dominan. Hasil analisis menunjukkan dominasi penelitian material aspal dan beban lalu lintas, dengan penerapan Machine Learning (ML) dan Artificial Intelligence (AI) yang masih sangat terbatas. Lima research gap utama teridentifikasi, mencakup minimnya integrasi AI–IoT untuk pemantauan real-time dan absennya model prediktif berbasis ML untuk kondisi iklim tropis Indonesia. Penelitian ini menghasilkan roadmap komputasional sebagai fondasi pengembangan Decision Support System (DSS) berbasis data untuk manajemen pemeliharaan infrastruktur jalan di Indonesia.

Kata kunci: Kecerdasan Buatan, Bibliometrik, Data Mining, Sistem Pendukung Keputusan, Pembelajaran Mesin, Multi-Beban, Perkerasan Jalan, Tinjauan Pustaka Sistematis

ABSTRACT

Road pavements face complex multi-load challenges including traffic loads, extreme climate, and Urban Heat Island (UHI) phenomena simultaneously. This study applies a Systematic Literature Review (SLR) approach based on the PICO framework, integrated with bibliometric Data Mining techniques using VOSviewer and R-Studio, to map research trends and patterns from 50 Scopus-indexed articles (2020–2026). Computational methods include keyword co-occurrence analysis, node network graphs, and density visualization to identify dominant topic clusters. Results reveal dominance of asphalt material and traffic load research, with very limited application of Machine Learning (ML) and Artificial Intelligence (AI). Five major research gaps were identified, including minimal AI–IoT integration for real-time monitoring and the absence of ML-based predictive models for Indonesia's tropical climate conditions. This study provides a computational roadmap as a foundation for developing a data-driven Decision Support System (DSS) for road infrastructure maintenance management in Indonesia.

Keywords: Artificial Intelligence, Bibliometric Analysis, Data Mining, Decision Support System, Machine Learning, Multi-Load Interaction, Pavement Resilience, Systematic Literature Review.

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan merupakan komponen vital dalam sistem transportasi yang berfungsi menjamin kelancaran mobilitas, keselamatan pengguna jalan, serta efisiensi distribusi barang dan jasa. Dalam praktiknya, kinerja dan umur layan perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor pembebanan, baik yang berasal dari lalu lintas maupun lingkungan. Selama ini, perencanaan dan evaluasi perkerasan umumnya masih didominasi oleh pendekatan yang mempertimbangkan beban lalu lintas sebagai faktor utama, sementara pengaruh lingkungan seringkali dianalisis secara terpisah atau disederhanakan.

Perkembangan kondisi global menunjukkan bahwa perkerasan jalan saat ini menghadapi tantangan yang semakin kompleks. Peningkatan volume dan beban kendaraan, khususnya kendaraan berat, menyebabkan akumulasi kerusakan struktural yang lebih cepat. Perubahan iklim memicu iklim ekstrem seperti suhu tinggi, curah hujan intens, serta fluktuasi temperatur yang signifikan. Selain itu, fenomena Urban Heat Island (UHI) di kawasan perkotaan turut memperparah kondisi termal permukaan jalan, mempercepat proses deformasi seperti rutting dan fatigue cracking.

Permasalahan yang muncul adalah bahwa ketiga faktor tersebut beban lalu lintas, iklim ekstrem, dan urban heat island tidak bekerja secara independen, melainkan saling berinteraksi dan memberikan efek kumulatif terhadap penurunan kinerja perkerasan jalan. Interaksi multi-beban ini berpotensi menghasilkan mekanisme kerusakan yang lebih kompleks dan sulit diprediksi dibandingkan jika masing-masing faktor dianalisis secara terpisah. Sayangnya, sebagian besar penelitian yang ada masih berfokus pada satu atau dua faktor saja, sehingga belum mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai ketahanan perkerasan dalam kondisi nyata yang multidimensional.

Di tengah kompleksitas permasalahan tersebut, perkembangan teknologi informasi dan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) membuka peluang transformatif dalam analisis dan manajemen infrastruktur jalan. Teknik Data Mining, Machine Learning (ML), serta sistem berbasis komputasi kini mulai diterapkan untuk memprediksi degradasi material perkerasan, mendeteksi kerusakan secara dini, dan mendukung pengambilan keputusan dalam pemeliharaan infrastruktur. Pendekatan berbasis data (data-driven approach) menjadi semakin relevan seiring meningkatnya volume penelitian ilmiah yang memerlukan sintesis sistematis dan analitis.

Menghadapi kompleksitas permasalahan multi-beban pada perkerasan jalan, diperlukan suatu pendekatan yang tidak hanya mampu merangkum temuan penelitian secara komprehensif, tetapi juga dapat mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan (research gap) secara objektif dan terukur. Tinjauan literatur konvensional yang bersifat naratif dinilai tidak lagi memadai untuk mensintesis ribuan artikel ilmiah yang tersebar di berbagai jurnal internasional. Oleh karena itu, penelitian ini mengadopsi pendekatan Systematic Literature Review (SLR) yang diperkuat dengan analisis bibliometrik berbasis Data Mining sebagai solusi metodologis yang lebih sistematis, transparan, dan dapat direplikasi.

Tinjauan terhadap 50 artikel ilmiah terindeks Scopus (2020–2026) menunjukkan bahwa penelitian perkerasan jalan masih didominasi oleh pendekatan konvensional seperti survei lapangan manual dan penilaian PCI (Pavement Condition Index) secara tradisional. Pemanfaatan teknik bibliometrik berbasis Data Mining seperti analisis co-occurrence kata kunci dan network graph untuk memetakan lanskap penelitian multi-beban perkerasan secara sistematis masih sangat jarang dilakukan. Padahal, pendekatan komputasional ini terbukti efektif dalam mengidentifikasi tren, kluster topik, dan kesenjangan penelitian secara objektif dan terukur.

Belum tersedianya Decision Support System (DSS) berbasis data yang komprehensif untuk mendukung pemeliharaan perkerasan jalan di Indonesia menjadi masalah kritis.

Pengambilan keputusan pemeliharaan infrastruktur selama ini masih bertumpu pada inspeksi manual dan penilaian subjektif, tanpa didukung model prediktif berbasis AI yang mampu mengintegrasikan variabel multi-beban (lalu lintas, iklim ekstrem, UHI) secara simultan. Kondisi ini menciptakan kesenjangan nyata antara ketersediaan temuan penelitian dan penerapannya dalam sistem pendukung keputusan berbasis komputer yang dapat digunakan oleh pemangku kebijakan infrastruktur.

Era Industri 4.0 mendorong transformasi dalam pemantauan infrastruktur. Sistem berbasis AI dan Internet of Things (IoT) berpotensi memberikan data kondisi jalan secara real-time yang jauh lebih akurat dan efisien dibandingkan survei manual yang mahal dan tidak berkelanjutan. Namun, dari 50 artikel yang dikaji, hanya sebagian kecil yang memanfaatkan teknologi mutakhir berbasis deep learning atau sensor IoT secara terintegrasi untuk kondisi jalan Indonesia, mengindikasikan research gap yang signifikan dalam pemanfaatan komputasi cerdas pada domain infrastruktur jalan tropis.

Urgensi penelitian ini sangat tinggi mengingat kondisi infrastruktur jalan Indonesia yang terus mengalami kerusakan prematur akibat kombinasi beban berlebih, iklim tropis ekstrem, dan fenomena Urban Heat Island yang intensitasnya terus meningkat seiring percepatan urbanisasi. Biaya pemeliharaan jalan nasional yang mencapai triliunan rupiah setiap tahun, namun tanpa model prediktif yang komprehensif dan berbasis data, menyebabkan alokasi anggaran pemeliharaan menjadi tidak efisien dan reaktif. Absennya Decision Support System berbasis AI yang mampu mengintegrasikan variabel multi-beban secara simultan menjadi hambatan kritis bagi pengambil kebijakan infrastruktur untuk merumuskan strategi pemeliharaan yang tepat waktu dan tepat sasaran. Tanpa intervensi metodologis yang sistematis, kesenjangan antara ketersediaan teknologi komputasi mutakhir dan penerapannya dalam manajemen infrastruktur jalan Indonesia akan terus melebar, mengakibatkan pemborosan sumber daya dan meningkatnya risiko keselamatan pengguna jalan.

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah tersebut, penelitian ini memiliki tiga tujuan utama. Pertama, memetakan tren dan pola penelitian perkerasan jalan berbasis multi-beban secara sistematis melalui analisis bibliometrik terhadap 50 artikel terindeks Scopus (2020–2026) menggunakan pendekatan Data Mining dengan VOSviewer dan R-Studio. Kedua, mengidentifikasi research gap yang signifikan dalam pemanfaatan Artificial Intelligence, Machine Learning, dan Internet of Things untuk analisis multi-beban perkerasan jalan di Indonesia, khususnya dalam konteks kondisi iklim tropis yang belum banyak dikaji. Ketiga, merumuskan roadmap komputasional sebagai fondasi pengembangan Decision Support System berbasis data untuk mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan infrastruktur jalan yang lebih akurat, efisien, dan proaktif di Indonesia.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) yang diperkuat dengan analisis meta berupa bibliometrik kuantitatif berbasis komputasi. SLR dipilih karena mampu mensintesis temuan dari sejumlah besar artikel ilmiah secara sistematis, transparan, dan dapat direplikasi, sehingga menghasilkan kesimpulan yang lebih komprehensif dibandingkan tinjauan literatur konvensional. Desain penelitian ini bersifat deskriptif-analitik-komputasional, yakni mendeskripsikan peta perkembangan penelitian, menganalisis kesenjangan (research gap), sekaligus mengidentifikasi peluang penerapan teknologi berbasis Artificial Intelligence (AI) dan Data Mining dalam domain perkerasan jalan Indonesia.

Penelitian dilaksanakan melalui empat tahap utama yang terintegrasi secara komputasional:

- Tahap 1 — Identifikasi & Pengumpulan Data: Pengumpulan artikel dari database Scopus menggunakan dua query terstruktur, menghasilkan 23.129 artikel awal (Query 1: 22.128 artikel; Query 2: 1.001 artikel).
- Tahap 2 — Seleksi & Skrining Komputasional: Proses deduplikasi otomatis dan skrining bertahap berdasarkan kriteria inklusi/eksklusi berbasis PICO Framework hingga diperoleh 50 artikel final.
- Tahap 3 — Analisis Bibliometrik & Data Mining: Ekstraksi pola tersembunyi dari metadata 50 artikel menggunakan VOSviewer (co-occurrence, overlay visualization) dan R-Studio (network graph, degree distribution, density map).
- Tahap 4 — Sintesis & Roadmap Komputasional: Perumusan 5 research gap utama dan penyusunan roadmap pengembangan Decision Support System (DSS) berbasis AI untuk pemeliharaan perkerasan jalan Indonesia.

Keseluruhan proses mengacu pada protokol PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) yang diakui internasional sebagai standar pelaporan SLR, serta diperkuat dengan kerangka PICO untuk strukturisasi research question berbasis komputasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis bibliometrik dalam penelitian ini pada dasarnya merupakan proses Data Mining terhadap metadata publikasi ilmiah. Perangkat VOSviewer dan R-Studio digunakan untuk mengekstrak pola tersembunyi dari 50 artikel Scopus melalui tiga teknik komputasi utama:

- Co-occurrence Analysis: Identifikasi pasangan kata kunci yang sering muncul bersamaan untuk memetakan kluster topik dominan — dalam konteks ini menghasilkan 3 kluster utama: material aspal, beban lalu lintas & struktur, serta geoteknik & pengujian.
- Network Graph Analysis: Visualisasi hubungan antar-node kata kunci menggunakan algoritma grafik R-Studio untuk mengidentifikasi topik sentral dan peripheral dalam literatur perkerasan jalan.
- Density Visualization: Pemetaan temporal dan kepadatan topik penelitian menggunakan overlay VOSviewer untuk mengidentifikasi tren terbaru (2022–2024): material modifikasi, geopolymer, rheology aspal, dan AI-based monitoring.

Distribusi Pendekatan Komputasi dalam 50 Artikel

Berdasarkan kajian terhadap 50 artikel, ditemukan bahwa penerapan Machine Learning dan AI dalam analisis perkerasan jalan masih sangat terbatas. Tabel berikut merangkum distribusi pendekatan komputasi yang ditemukan:

Tabel 1. Distribusi Pendekatan Komputasi dalam 50 Artikel

Pendekatan Komputasi	Jumlah Artikel	Persentase	Contoh Penerapan
Metode Konvensional (survei, PCI manual)	35	~70%	Survei lapangan, pengukuran IRI/CBR
Metode Numerik (FEM/FEA)	10	~20%	ABAQUS, ANSYS, OpenPave
Machine Learning / Deep Learning	3	~6%	Deep learning deteksi kerusakan, DQN
IoT / Sensor berbasis AI	2	~4%	Arduino sensor, sistem real-time

Data pada Tabel 1 mengkonfirmasi bahwa hanya ~10% artikel yang menerapkan ML/AI atau IoT[18], mengindikasikan research gap yang signifikan dalam pemanfaatan

kecerdasan buatan untuk analisis multi-beban perkerasan jalan di Indonesia.

Potensi Decision Support System (DSS) untuk Manajemen Perkerasan Jalan

Hasil SLR ini dapat menjadi fondasi pengembangan sistem berbasis komputer, khususnya Decision Support System (DSS) untuk manajemen pemeliharaan perkerasan jalan berbasis multi-beban. Kerangka DSS yang diusulkan mencakup empat komponen utama:

Tabel 2. Kerangka Decision Support System Berbasis AI untuk Perkerasan Jalan

Komponen DSS	Teknologi yang Relevan	Input Data	Output
Modul Prediksi Kerusakan Aspal	Machine Learning (Random Forest, LSTM)	Data suhu, beban kendaraan, inspeksi visual	Prediksi rutting & fatigue cracking
Modul Deteksi UHI	Deep Learning + Remote Sensing	Data citra satelit, sensor suhu permukaan	Peta termal jalan & zona risiko UHI
Modul Pemantauan Real-Time	IoT + AI Edge Computing	Data sensor kondisi jalan real-time	Dashboard kondisi jalan otomatis
Modul Keselamatan Proaktif	Predictive Analytics + GIS	Data historis kecelakaan & kondisi jalan	Peta blackspot prediktif berbasis ML

Kerangka DSS pada Tabel 5 menunjukkan bahwa penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi kesenjangan teknik sipil, tetapi juga merumuskan roadmap komputasional yang dapat diwujudkan melalui pendekatan interdisipliner antara Teknik Sipil dan Ilmu Komputer. Pendekatan ini sejalan dengan tren global dalam infrastructure informatics dan smart road management.

Potensi Integrasi AI-IoT untuk Smart Pavement Monitoring

Salah satu research gap terpenting yang ditemukan adalah minimnya kajian integrasi AI, IoT, dan sistem pemantauan berbasis sensor untuk perkerasan jalan Indonesia[19]. Integrasi ketiga teknologi ini berpotensi membentuk ekosistem smart pavement monitoring yang mampu mendeteksi degradasi multi-beban secara real-time dan otomatis. Sistem ini dapat memantau secara simultan: (1) akumulasi beban lalu lintas menggunakan sensor piezoelektrik; (2) suhu permukaan dan efek UHI menggunakan sensor termal berbasis IoT; serta (3) retak dan deformasi menggunakan computer vision berbasis deep learning menghasilkan rekomendasi pemeliharaan proaktif yang terintegrasi dalam platform DSS nasional.

4. SIMPULAN

Studi literatur sistematis ini telah berhasil mengkaji 50 artikel ilmiah terindeks Scopus (2020–2026) yang berkaitan dengan ketahanan perkerasan jalan akibat interaksi multi-beban meliputi beban lalu lintas, iklim ekstrem, dan fenomena Urban Heat Island (UHI). Melalui integrasi pendekatan Data Mining bibliometrik menggunakan VOSviewer dan R-Studio, penelitian ini tidak hanya menghasilkan peta penelitian yang komprehensif, tetapi juga merumuskan roadmap komputasional sebagai fondasi pengembangan sistem cerdas berbasis Artificial Intelligence (AI) untuk infrastruktur jalan Indonesia.

Analisis Data Mining terhadap metadata 50 artikel Scopus menghasilkan tiga klaster topik dominan: (1) Klaster Material Aspal — mencakup campuran aspal, binder, rheology, dan material modifikasi; (2) Klaster Beban Lalu Lintas & Struktur — mencakup traffic loads, finite element method, compressive strength, dan subgrade; serta (3) Klaster

Geoteknik & Pengujian — sebagai penghubung antar dua klaster utama. Overlay visualization menunjukkan tren terbaru (2022–2024) mengarah pada inovasi material (geopolymer, modified bitumen) dan awal pemanfaatan AI-based monitoring, namun masih sangat terbatas.

Dari perspektif ilmu komputer, penelitian ini menemukan kesenjangan kritis dalam pemanfaatan teknologi komputasi: hanya ~6% artikel yang menerapkan Machine Learning atau Deep Learning, dan hanya ~4% yang menggunakan sensor IoT secara terintegrasi. Mayoritas penelitian (~70%) masih menggunakan metode konvensional seperti survei lapangan manual dan penilaian PCI tradisional. Temuan ini mengonfirmasi bahwa domain perkerasan jalan Indonesia merupakan lahan subur bagi penerapan AI, Data Mining, dan IoT yang belum tergarap secara optimal.

SARAN

- Pengembangan Platform DSS Nasional: Pemerintah Indonesia (Kementerian PUPR) disarankan untuk mengembangkan platform Decision Support System nasional berbasis AI yang terintegrasi dengan data kondisi jalan dari seluruh wilayah, menggunakan arsitektur cloud computing dan API terbuka untuk memudahkan kolaborasi penelitian.
- Standarisasi Dataset Terbuka: Peneliti dan lembaga pemerintah disarankan untuk membangun dataset perkerasan jalan Indonesia yang terbuka (open dataset) — mencakup data kondisi jalan, volume lalu lintas, suhu permukaan, dan kejadian kecelakaan — sebagai fondasi pelatihan model ML yang akurat dan kontekstual.
- Kolaborasi Interdisipliner: Perguruan tinggi di Indonesia disarankan mendorong kolaborasi antara Program Studi Teknik Sipil dan Ilmu Komputer/Informatika dalam penelitian infrastruktur cerdas, mengingat potensi besar penerapan AI dan IoT yang teridentifikasi dalam penelitian ini.
- Pilot Project Smart Pavement Monitoring: Disarankan dilakukan pilot project sistem pemantauan jalan berbasis IoT + AI pada ruas jalan nasional prioritas (misalnya Jalan Trans-Sumatera atau Trans-Jawa) sebagai proof-of-concept sebelum diterapkan secara nasional.
- Pengembangan Model Prediktif Iklim Tropis: Peneliti disarankan untuk tidak sekadar mengadopsi model ML yang dikembangkan di negara iklim sedang (temperate), melainkan mengembangkan atau melatih ulang model tersebut menggunakan data iklim tropis Indonesia agar prediksi degradasi perkerasan lebih akurat dan relevan secara lokal.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Z. H. Siregar, A. F. Nasution, and Y. D. Lianto, “HIGH-RISE BUILDINGS : A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW AND SCOPUS-BASED PUBLICATION TRENDS (2000 – 2025),” vol. 07, no. 01, pp. 617–638, 2026, doi: 10.54123/vorteks.v7i1.533.
- L. Y. Perez-Aguilar, W. Plata-Rocha, S. A. Monjardin-Armenta, and R. F. López-Osorio, “Implementation of a web-based system for monitoring and simulation of arid zones in northwestern Mexico. Region of Mexico,” *Ecol. Modell.*, vol. 501, 2025, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2025.111024.
- E. D. Hayati and S. S. Drihartati, “Penerapan teknik kependudukan wisata dalam narasi pemandu wisata Kota Lama Semarang,” *Bangun Rekaprima*, 2021, [Online]. Available: https://jurnal.polines.ac.id/index.php/bangun_rekaprima/article/view/2594
- W. Zhang, X. Mao, X. Chen, and C. Zhu, “Manage On-Road Services with Chains: A Distributed Vehicular Task Offloading Approach Based on Blockchain Technology,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 75, no. 4, pp. 6689–6704, 2026, doi: 10.1109/TVT.2025.3622202.
- G. Reyes et al., “Intelligent Analysis of Data Flows for Real-Time Classification of Traffic

- Incidents,” *Inf.*, vol. 17, no. 3, 2026, doi: 10.3390/info17030310.
- V. B. Arifanti, J. B. Kauffman, Subarno, and ..., “Contributions of mangrove conservation and restoration to climate change mitigation in Indonesia,” *Glob. Chang. ...*, 2022, doi: 10.1111/gcb.16216.
- Y. Woo Cho, J. Woo Cheon, and S. Bong Yoo, “MonoSTR: Structure-aware monocular 3D object detection via keypoint-based geometric representation,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 321, 2026, doi: 10.1016/j.eswa.2026.132274.
- A. A. M. Suradi, M. F. Rasyid, and ..., “Sistem Perhitungan Jumlah Kendaraan Berbasis Computer Vision,” *SISITI Semin. Ilm. ...*, 2022, [Online]. Available: <http://ejurnal.undipa.ac.id/index.php/sisiti/article/view/950>
- R. A. Khan, M. Bibi, M. Khokhar, and M. M. B. Tufail, *Geographic information system and AI integration to support sustainable environment: A glance from the construction sector*. IGI Global, 2024. doi: 10.4018/979-8-3693-8104-5.ch007.
- S. Yılmaz, “Failure Analysis and Machine Learning-Based Prediction in Urban Drinking Water Systems,” *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 24, 2025, doi: 10.3390/app152412887.
- H. Nakashima, T. Nakamura, Y. Hosoi, K. Konno, and H. Kawamura, “Smart Infrastructure Asset Management System on Metropolitan Expressway in Japan,” *Sustain. Civ. Infrastructures*, pp. 575–586, 2022, doi: 10.1007/978-3-030-79801-7_41.
- L. M. Ramdani and A. Z. Al Faritsy, “Analisis Pengendalian Kualitas Pada Produksi Base Plate R-54 Menggunakan Metode Statistical Quality Control Dan 5S,” *J. Teknol. dan Manaj. ...*, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal-tmit.com/index.php/home/article/view/43>
- H. İ. Şenol, A. Y. Yiğit, and A. Ulvi, “GIS-Based Multi-Criteria Analysis for Urban Afforestation Planning in Semi-Arid Cities,” *Forests*, vol. 16, no. 7, 2025, doi: 10.3390/fl6071064.
- S. Yeşilköy, Ö. Baydaroğlu, N. Singh, Y. Sermet, and I. Demir, “A contemporary systematic review of cyberinfrastructure systems and applications for flood and drought data analytics and communication,” *Environ. Res. Commun.*, vol. 6, no. 10, 2024, doi: 10.1088/2515-7620/ad85c4.
- A. Zerouali, M. J. El Hamidi, A. Larabi, M. Faouzi, and O. Chafik, “Managing Groundwater Withdrawal Using a DSS Based on GIS-MODFLOW Coupling Tool: A Case Study of the Berrechid Aquifer, Morocco,” *Lect. Notes Geoinf. Cartogr.*, pp. 147–163, 2024, doi: 10.1007/978-3-031-63038-5_8.
- J. F. Pons-Ausina, S. N. Hosseini, and J. Soriano Olivares, “AI for Smart Water Solutions in Developing Areas: Case Study in Khelvachauri (Georgia),” *Water (Switzerland)*, vol. 17, no. 8, 2025, doi: 10.3390/w17081119.
- S. Hartati, A. Zulfi, P. Y. D. Maulida, A. Yudhowijoyo, and ..., “Synthesis of Electrospun PAN/TiO₂/Ag Nanofibers Membrane As Potential Air Filtration Media with Photocatalytic Activity,” *ACS ...*, 2022, doi: 10.1021/acsomega.2c00015.
- R. Thumma and A. Aleem, “IoT-Enabled Ultrasonic Sensing and Bidirectional Alert System for Blind-Curve Accident Prevention,” *IEEE Sens. J.*, vol. 26, no. 6, pp. 9188–9197, 2026, doi: 10.1109/JSEN.2026.3660961.
- G. Ramalingam, S. Selvaraj, N. Delcy, and K. Suriyan, “IoT-based intelligent traffic congestion mitigation system,” in *AIP Conference Proceedings*, G. P. and K. S., Eds., Annauniversity Regional Campus, Tamilnadu, Coimbatore, India: American Institute of Physics, 2026. doi: 10.1063/5.0317264.
- I. A. Tijani, T. G. Wakjira, M. S. Alam, and N. Uddin, “Digital Image Correlation (DIC) for Structural Health Monitoring of Bridge Systems: A State-of-the-Art Review with Future Research Directions,” *Arch. Comput. Methods Eng.*, vol. 33, no. 3, pp. 4325–4341, 2026, doi: 10.1007/s11831-025-10459-6.
- 168-177. Ramadhan, A., Sihombing, P. M., & Siregar, Z. H. (2025). Prototipe Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Internet of Things (IoT) Dengan Mikrokontroller Menggunakan Aplikasi Telegram: internet of things, penyiraman tanaman, suhu kelembaban. *MACHINER*, “No Title”.
- Taqwanur and Mega Bilqis Suryawantiningtyas, “G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan,” *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 6, no. 2, pp. 295–305, 2022.