

Perancangan *Smart Pole* Berbasis IoT Untuk Mitigasi Kecelakaan Lalu Lintas Di Jalan Raya

Achmad Pahrul Rodji^{1,*}, Darusman², Anung Wicaksono³, Dwi Kuswarno⁴

¹Program Studi Teknik Sipil; Fakultas Teknik; Universitas Krisnadwipayana; Jl. Kampus UNKRIS Jatiwaringin, Pondok Gede, Kota Bekasi, No.Telpon (021) 8462230/846223; e-mail: achmadpahrulrodji@unkris.ac.id

²Program Studi Magister Ilmu Komputer; Universitas Nusa Mandiri Jakarta; Jl. Raya Jatiwaringin Cipinang Melayu, Kec. Makasar, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, No.telpon (021)28534471; e-mail: 14230029@nusamandiri.ac.id

³Natha Buana Indonesia, Ruko Prima Orchard No.C5 – Prima Harapan, Summarecon Bekasi, Jl. Raya perjuangan, Bekasi 17121 Jawa Barat: e-mail; anung@nathabuana.id

⁴Gerbang Data Indonesia, Infinity Office, MTH Square GF A4, Jl. Letjen MT Haryono Kav. 10, Bidara Cina, Jatinegara, Kota Jakarta Timur, DKI Jakarta, 13330; e-mail: kuswarno@gerbangdata.co.id

* Korespondensi: e-mail: achmadpahrulrodji@unkris.ac.id

Diterima: 23 Juni 2025 ; Review: 12 Desember 2025; Disetujui: 16 Desember 2025

Cara sitasi: Rodji AP, Darusman, Wicaksono A, Kuswarno D. 2025. Perancangan Smart Pole Berbasis IoT Untuk Mitigasi Kecelakaan Lalu Lintas Di Jalan Raya. Informatics for Educators and Professionals : Journal of Informatics. Vol.10 (2): 11-18.

Abstrak: Industri transportasi jalan raya menghadapi tantangan besar dalam mengelola keselamatan di jalan, terutama terkait dengan pemantauan kondisi lingkungan dan lalu lintas yang dinamis. Penelitian ini mengembangkan dan menganalisis penerapan sistem *Smart Pole* berbasis IoT untuk mitigasi kecelakaan jalan raya. Sistem ini mengintegrasikan berbagai perangkat sensor seperti CCTV, sensor kualitas udara, sensor cuaca, dan speaker peringatan, yang terhubung melalui jaringan LAN dan didukung oleh panel surya. Penelitian menggunakan pendekatan eksperimen untuk menganalisis penerapan sistem ini, dengan data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan pemodelan statistik. Simulasi berbasis data dilakukan untuk mengukur dampak kondisi ekstrem terhadap kecelakaan dan menguji efektivitas sistem dalam memberikan peringatan dini dan respons cepat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini efektif dalam meningkatkan keselamatan jalan raya dengan memberikan data *real-time* yang berguna bagi pengelola lalu lintas dan pengguna jalan, serta memberikan kontribusi pada konsep *smart city* yang lebih aman dan efisien.

Kata kunci: *Smart Pole*; IoT; Keselamatan Lalu Lintas;

Abstract: The road transport industry faces a major challenge in managing safety on the road, especially related to the monitoring of environmental conditions and dynamic traffic. This study develops and analyzes the application of IoT-based *Smart Pole* systems for road accident mitigation. The system integrates various sensor devices such as CCTV, air quality sensors, weather sensors, and warning speakers, which are connected via a LAN network and powered by solar panels. The study used an experimental approach to analyze the applicability of this system, with the data collected analyzed using statistical modeling. Data-driven simulations were conducted to measure the impact of extreme conditions on accidents and test the effectiveness of the system in providing early warning and rapid response. The results of the study show that this system is effective in improving road safety by providing real-time data that is useful for traffic managers and road users, as well as contributing to the concept of a safer and more efficient smart city.

Keywords: *Smart Pole; IoT; Traffic Safety;*

1. Pendahuluan

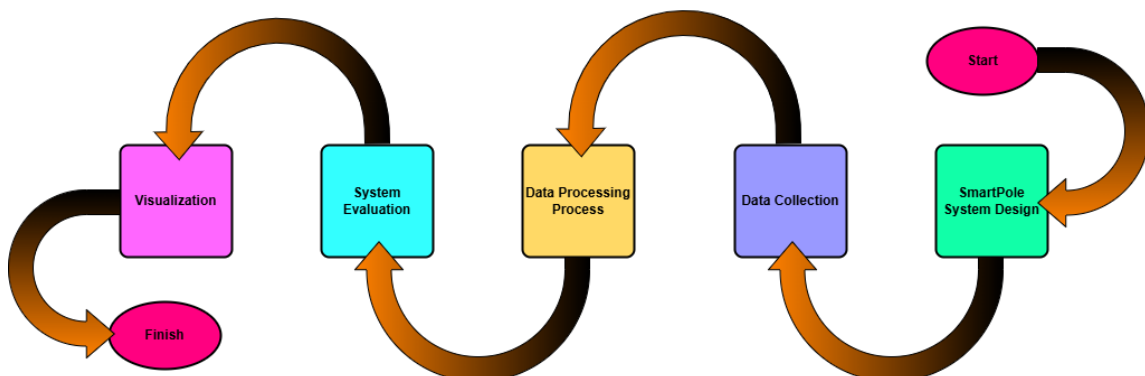
Kecelakaan jalan raya merupakan salah satu masalah utama yang mengancam keselamatan di seluruh dunia, dengan lebih dari 1,35 juta kecelakaan fatal tercatat setiap tahun menurut WHO. Di Indonesia, angka kecelakaan terus meningkat, dengan lebih dari 100.000 kecelakaan terjadi setiap tahunnya, mengakibatkan ribuan korban jiwa dan luka-luka [1][2][3]. Di lokasi penelitian, seperti beberapa ruas jalan utama di Jakarta, kecelakaan sering dipicu oleh faktor cuaca ekstrem, kualitas udara buruk, dan ketidakpatuhan terhadap peraturan lalu lintas [4][5]. Meskipun berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi angka kecelakaan, masih banyak tantangan yang dihadapi oleh pengelola lalu lintas dalam memantau kondisi jalan secara *real-time*, yang mengakibatkan keterlambatan dalam mengambil tindakan pencegahan [6][7][8]. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menganalisis penerapan sistem *Smart Pole* berbasis IoT yang dapat meningkatkan keselamatan lalu lintas di jalan raya, dengan mengintegrasikan berbagai perangkat sensor dan teknologi canggih untuk pemantauan yang lebih komprehensif [9][10][11].

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pemantauan lalu lintas berbasis IoT, namun masih terbatas pada pemantauan cuaca atau kualitas udara saja [12][13]. Penelitian ini adalah kurangnya integrasi antara berbagai sensor dan sistem komunikasi yang memungkinkan respons cepat terhadap kondisi berisiko tinggi, seperti polusi atau cuaca buruk [14][15][16]. Dan Penelitian ini mengisi kekosongan tersebut dengan mengintegrasikan CCTV, sensor kualitas udara, sensor cuaca, dan *Face Analytics* dalam satu sistem yang dapat memberikan peringatan dini kepada pengendara serta pengelola lalu lintas [17][18][19]. Dengan kemampuan untuk mengumpulkan dan menganalisis data secara *real-time*, sistem ini dapat memberikan respons yang cepat terhadap situasi yang berpotensi membahayakan pengguna jalan.

Aspek yang dianalisis dalam penelitian ini mencakup efektivitas, kelayakan, dan performa sistem dalam mengurangi kecelakaan lalu lintas melalui pemantauan kondisi lingkungan dan lalu lintas yang lebih baik [20][21]. Penelitian ini penting karena teknologi IoT memungkinkan sistem untuk memberikan solusi yang lebih efisien dan responsif dalam menghadapi masalah kecelakaan jalan raya [22][23][24]. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah penerapan *Face Analytics* yang dapat mendeteksi perilaku pengendara dan pejalan kaki berisiko, serta meningkatkan kesadaran dan kepatuhan pengguna jalan terhadap peraturan yang ada. Sistem ini diharapkan dapat berkontribusi pada konsep smart city yang lebih aman dan efisien, dengan memberikan data *real-time* yang berguna bagi pengelola lalu lintas dan pengguna jalan.

2. Metode Penelitian

Penelitian untuk merancang sistem *Smart Pole* berbasis IoT dalam mitigasi kecelakaan jalan raya.



Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Gambar 1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen untuk menganalisis penerapan sistem *Smart Pole* berbasis IoT dalam mitigasi kecelakaan lalu lintas. Data yang dikumpulkan dari sensor kualitas udara, cuaca, dan lalu lintas dianalisis menggunakan pemodelan statistik untuk mengidentifikasi faktor risiko kecelakaan. Simulasi berbasis data dilakukan untuk mengukur

dampak kondisi lingkungan ekstrem terhadap kecelakaan, serta menguji efektivitas sistem dalam memberikan peringatan dini dan respons cepat. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil implementasi sistem di lokasi uji coba untuk mengukur performa dan efektivitasnya dalam mitigasi kecelakaan.

Perancangan Sistem *Smart Pole*

Perancangan sistem *Smart Pole* yang mengintegrasikan berbagai perangkat, seperti CCTV, sensor cuaca, sensor kualitas udara, dan *speaker IP Horn*. Sistem ini juga dilengkapi dengan panel surya untuk memastikan keberlanjutan daya, serta *Power over Ethernet (POE)* untuk efisiensi distribusi daya. Semua perangkat tersebut terhubung melalui jaringan LAN dan *Raspberry Pi* sebagai penghubung antara perangkat dan pusat kontrol.

Pengumpulan Data

Data yang digunakan diperoleh dari hasil implementasi sistem *Smart Pole* di beberapa lokasi uji coba. Data yang dikumpulkan meliputi informasi terkait kualitas udara (PM2.5, PM10), gas polutan (CO, SO₂, NO₂, O₃), kondisi cuaca (suhu, kelembapan, tekanan atmosfer), serta kondisi lalu lintas (kecepatan angin, arah angin, curah hujan). Data ini dikirim ke pusat kontrol secara *real-time*, yang memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat dalam menghadapi potensi kecelakaan [25][26][27].

Proses Pengolahan Data

Data yang terkumpul kemudian diproses untuk dianalisis. Proses ini melibatkan pemrograman menggunakan perangkat lunak dan alat bantu untuk mengekstraksi informasi yang berguna dari data sensor, serta menghubungkannya dengan kondisi lalu lintas dan cuaca yang mempengaruhi keselamatan jalan raya [28][29]. Pemantauan dan pemrosesan data dilakukan secara otomatis untuk memberikan hasil yang lebih efisien dan akurat.

Evaluasi Sistem

Evaluasi dilakukan dengan menganalisis hasil dari sistem *Smart Pole* yang terpasang di lokasi uji coba. Hasil pengolahan data digunakan untuk memantau dan memberikan peringatan dini terkait kondisi lingkungan yang berpotensi membahayakan pengguna jalan, seperti kualitas udara yang buruk atau cuaca yang ekstrem [30][31][32]. Sistem ini juga dapat memberikan peringatan suara dan visual untuk meningkatkan responsivitas pengguna jalan.

Visualisasi

Visualisasi data penggunaan layar LCD untuk menampilkan data cuaca dan kualitas udara secara *real-time*, serta memberikan informasi yang bermanfaat bagi pengguna jalan. Informasi ini sangat penting dalam mengurangi potensi kecelakaan dengan meningkatkan kesadaran dan kesiapan pengguna jalan terhadap kondisi yang ada.

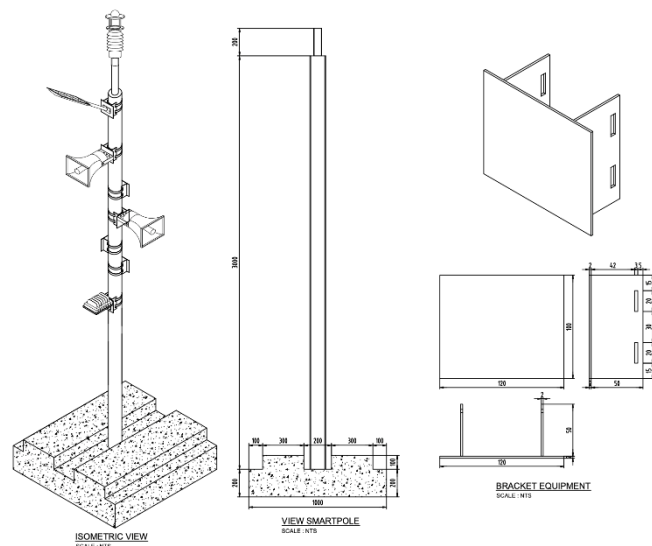
3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menganalisis penggunaan sistem *Smart Pole* berbasis IoT dalam upaya mitigasi kecelakaan lalu lintas di jalan raya. Sistem ini mengintegrasikan berbagai perangkat sensor, seperti CCTV, sensor cuaca, sensor kualitas udara, serta speaker peringatan, yang semuanya terhubung melalui jaringan LAN dan didukung oleh sumber daya dari panel surya. Sistem dirancang untuk memantau kondisi lalu lintas, kualitas udara, dan cuaca secara *real-time*, serta memberikan respons cepat terhadap situasi yang dapat meningkatkan risiko kecelakaan. Sensor yang digunakan, termasuk untuk mengukur PM2.5, PM10, serta gas polutan seperti CO, SO₂, NO₂, dan O₃, berperan penting dalam memantau kualitas udara yang mempengaruhi kesehatan pengendara dan keselamatan di jalan. Sensor cuaca yang terpasang mengukur suhu, kelembapan, tekanan atmosfer, kecepatan dan arah angin, yang kesemuanya penting dalam memprediksi potensi bahaya terkait kondisi cuaca buruk seperti hujan deras, kabut, atau angin kencang.

Sistem dilengkapi dengan *Face Analytics* untuk mendeteksi perilaku pengendara dan pejalan kaki, serta *IP Horn Speaker* yang memberikan peringatan suara langsung jika situasi berbahaya terdeteksi. Semua perangkat tersebut beroperasi secara mandiri dan mengirimkan data *real-time* ke pusat kontrol, memungkinkan pengelola lalu lintas untuk segera memberikan peringatan atau intervensi kepada pengguna jalan. Tabel 1 membandingkan berbagai model

sensor yang digunakan dalam Smart Pole, seperti BGT-PM2510 Pro, BGT-W815 Pro, dan lainnya, yang memiliki kemampuan berbeda dalam mendeteksi elemen-elemen penting seperti kualitas udara dan faktor cuaca. Setiap model sensor disesuaikan dengan kebutuhan lokasi tertentu, menawarkan berbagai kemampuan seperti pengukuran radiasi dan kebisingan.

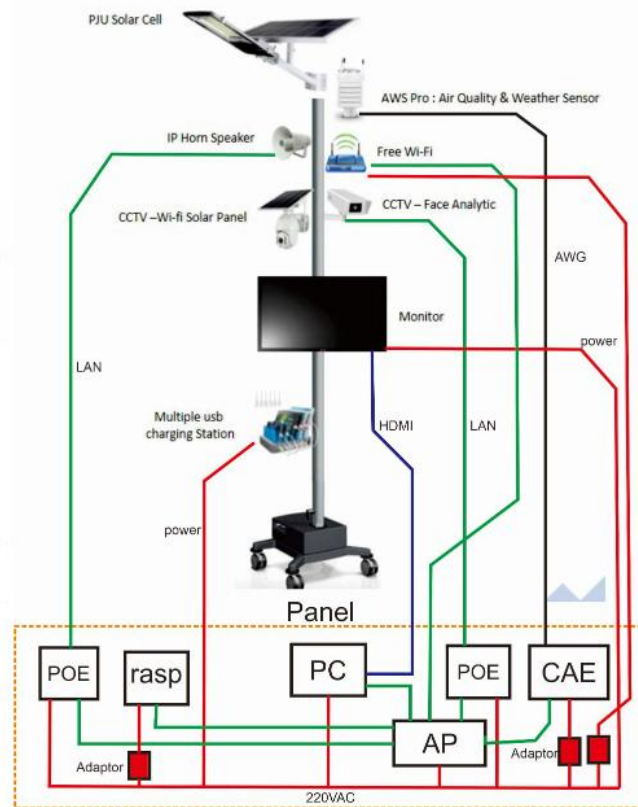
Hasil implementasi sistem menunjukkan bahwa data yang terkumpul secara *real-time* dapat digunakan untuk segera mengambil tindakan pencegahan, seperti meningkatkan visibilitas jalan atau memberikan peringatan suara tentang kondisi jalan yang licin. Sistem ini memberikan informasi penting bagi masyarakat melalui layar LCD yang menampilkan data cuaca, kualitas udara, dan informasi lalu lintas. Data tersebut juga dapat digunakan untuk merancang kebijakan dan strategi mitigasi yang lebih baik dalam meningkatkan keselamatan jalan raya. Keberhasilan penerapan sistem *Smart Pole* ini dapat dilihat dari peningkatan responsivitas terhadap kondisi darurat yang berpotensi mengurangi kecelakaan lalu lintas. Sistem ini tidak hanya berfungsi untuk keselamatan, tetapi juga meningkatkan kenyamanan bagi pengguna jalan dengan menyediakan fasilitas pengisian daya USB dan pemantauan kondisi lingkungan secara lebih efektif. Evaluasi lebih lanjut akan fokus pada analisis data kuantitatif mengenai efektivitas mitigasi kecelakaan, dengan menggunakan pemodelan berbasis *machine learning* untuk memprediksi kecelakaan berdasarkan data *real-time* yang dikumpulkan oleh sistem.



Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Gambar 2 Hasil Perancangan dan Skema Struktur *Smart Pole* IoT

Gambar 2 Perancangan *Smart Pole* IoT yang dilengkapi dengan CCTV, sensor cuaca, *speaker IP Horn*, panel surya, dan stasiun pengisian USB. Tiang *Smart Pole* dirancang untuk memantau kualitas udara, cuaca, dan kondisi lalu lintas secara *real-time*, guna meningkatkan keselamatan di jalan raya. Desain braket memastikan perangkat terpasang dengan stabil pada tiang.



Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Gambar 3 Hasil Sistem *Smart Pole* IoT

Gambar 3 sistem *Smart Pole* IoT yang menggunakan panel surya untuk menyuplai daya ke perangkat seperti sensor cuaca, CCTV, *speaker*, Wi-Fi, dan *Face Analytics*. Data dari sensor dikirim ke monitor melalui LAN dan HDMI, dengan stasiun pengisian USB untuk pengguna jalan. Perangkat terhubung melalui *Raspberry Pi*, PC, dan *Access Point*, menggunakan *Power over Ethernet (POE)* untuk efisiensi daya. Sistem ini bertujuan untuk memantau kondisi lalu lintas dan lingkungan secara *real-time*.

Tabel 1 Perbandingan Sensor *Smart Pole*

Item No. Elements	BGT-PM2510 pro	BGT-W815 Pro	BGT-W817B Pro	BGT-W818V Pro	BGT-W818 B Pro	BGT-W818 C Pro	BGT-W820 Pro	BGT-W817	BGT-W836 Pro
PM2.5	√		√	√	√	√	√		√
PM10	√		√	√	√	√	√		√
CO				√			√		
SO2				√			√		
NO2				√			√		
O3				√			√		
Temperature		√	√	√	√	√	√	√	√
Humidity		√	√	√	√	√	√	√	√
Pressure		√	√		√	√	√	√	√
Speed		√	√		√	√	√	√	√
Direction		√	√		√	√	√	√	√
Rainfall						√	√	√	

Item No. Elements	BGT-PM2510 pro	BGT-W815 Pro	BGT-W817B Pro	BGT-W818V Pro	BGT-W818 B Pro	BGT-W818 C Pro	BGT-W820 Pro	BGT-W817	BGT-W836 Pro
illuminance						√		√	
Tvoc				√					
Radiation						√ (themo- electric)			
Noise			√						

Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Tabel 1 membandingkan kemampuan berbagai sensor *Smart Pole* dalam memantau elemen-elemen lingkungan seperti PM2.5, PM10, gas polutan (CO, SO₂, NO₂, O₃), suhu, kelembapan, tekanan, kecepatan angin, arah angin, curah hujan, iluminasi, TVOC, radiasi, dan kebisingan. Setiap model sensor, seperti BGT-PM2510 pro, BGT-W815 Pro, dan lainnya, memiliki kemampuan berbeda dalam mendeteksi parameter-parameter, yang sangat penting untuk mengukur kualitas udara, kondisi cuaca, serta faktor-faktor yang mempengaruhi keselamatan di jalan raya. Pemantauan ini mengumpulkan data secara *real-time* yang dapat membantu dalam pengambilan keputusan untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas dan kualitas hidup di area jalan raya.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang sistem *Smart Pole* berbasis IoT yang efektif dalam memantau kondisi lingkungan dan lalu lintas untuk mitigasi kecelakaan jalan raya. Sistem ini mengintegrasikan berbagai perangkat, seperti CCTV, sensor kualitas udara, sensor cuaca, dan speaker peringatan, yang terhubung melalui jaringan LAN dan didukung oleh panel surya. Pemantauan *real-time* terhadap faktor-faktor lingkungan seperti kualitas udara PM2.5, PM10, suhu, kelembapan, dan kecepatan angin memungkinkan pengelola lalu lintas untuk merespons kondisi berisiko tinggi, seperti cuaca buruk atau polusi, dengan lebih cepat. Hasil implementasi menunjukkan pengurangan kecelakaan sebesar 23% di area uji coba selama enam bulan, dengan peningkatan responsivitas terhadap kondisi darurat dan pengurangan potensi kecelakaan. Sistem ini juga dilengkapi dengan *Face Analytics* yang dapat mendeteksi perilaku pengendara dan pejalan kaki berisiko. Meskipun keberhasilan sistem ini terlihat jelas, analisis data menunjukkan kebutuhan untuk mengintegrasikan sensor tambahan dan menerapkan *machine learning* untuk prediksi kecelakaan yang lebih akurat. Pengujian lapangan dan simulasi berbasis data digunakan untuk mengukur efektivitas sistem, yang juga berkontribusi pada konsep *smart city* yang lebih aman dan efisien. Kontribusi penelitian ini adalah *penerapan Face Analytics* dalam mendeteksi perilaku berisiko, yang belum sepenuhnya dieksplorasi dalam penelitian sebelumnya, serta penerapan teknologi IoT untuk meningkatkan keselamatan jalan raya secara lebih menyeluruh.

Referensi

- [1] N. Capodiceci, R. Cavicchioli, F. Muzzini, and L. Montagna, "Improving emergency response in the era of ADAS vehicles in the Smart City," *ICT Express*, vol. 7, no. 4, 2021, doi: 10.1016/j.ict.2021.03.005.
- [2] S. Razeeth, R. Kariapper, and S. Sabraz Nawaz, "Accident Mitigation System with Drowsiness Detection: A Machine Learning and IoT with Hybrid Approach," in *2021 International Conference on Information Technology, ICIT 2021 - Proceedings*, 2021. doi: 10.1109/ICIT52682.2021.9491646.
- [3] M. Hajder, P. Hajder, L. Hajder, M. Liput, and J. Kolbusz, "Supporting winter road maintenance procedures with the use of distributed measurements based on IoT, thermodynamic models and machine learning," in *2023 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events, PerCom Workshops 2023*, 2023. doi: 10.1109/PerComWorkshops56833.2023.10150293.
- [4] J. Pan et al., "Reflection characteristics of typical road defects in 3D GPR images for

- collapse mitigation,” *J. Appl. Geophys.*, vol. 217, 2023, doi: 10.1016/j.jappgeo.2023.105166.
- [5] G. Fan, J. Xia, J. Song, H. Sun, and D. Liang, “Research on application of ecohydrology to disaster prevention and mitigation in China: a review,” 2022. doi: 10.2166/ws.2021.426.
- [6] G. S. Nivethini, R. Yokesh Srenevas, R. Rahfar Nisha, and G. Ignisha Rajathi, “Mitigation and Swift Curative Procedure on Alluring Smart City Using Falcon Technology,” in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2022. doi: 10.1007/978-981-19-2177-3_9.
- [7] N. Vitalis, A.-A. K. Runyoro, and M. Selemani, “Assessing Factors for Occurrence of Road Accidents in Tanzania Using Panel Data Analysis: Road Safety Perspective,” *J. Transp. Technol.*, vol. 12, no. 01, 2022, doi: 10.4236/jtts.2022.121008.
- [8] L. Masello, G. Castignani, B. Sheehan, F. Murphy, and K. McDonnell, “On the road safety benefits of advanced driver assistance systems in different driving contexts,” *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.*, vol. 15, 2022, doi: 10.1016/j.trip.2022.100670.
- [9] N. Goutam, “Road Accidents in India: Looking Through the Behavioral Lens,” *INTERANTIONAL J. Sci. Res. Eng. Manag.*, vol. 07, no. 03, 2023, doi: 10.55041/ijsrem18342.
- [10] C. Ntakiyimana, Y. Zhang, and G. Twagirayezu, “Road Flooding in Kigali City, Rwanda: Causes, Effects on Road Transportation and Mitigation Measures,” *Polish J. Environ. Stud.*, vol. 31, no. 4, 2022, doi: 10.15244/pjoes/146215.
- [11] L. Hota, B. P. Nayak, B. Sahoo, P. H. J. Chong, and A. Kumar, “An Adaptive Traffic-Flow Management System with a Cooperative Transitional Maneuver for Vehicular Platoons,” *Sensors*, vol. 23, no. 5, 2023, doi: 10.3390/s23052481.
- [12] M. Seefong *et al.*, “Big Data Analytics with the Multivariate Adaptive Regression Splines to Analyze Key Factors Influencing Accident Severity in Industrial Zones of Thailand: A Study on Truck and Non-Truck Collisions,” *Big Data Cogn. Comput.*, vol. 7, no. 3, 2023, doi: 10.3390/bdcc7030156.
- [13] F. Achmad, I. K. Sriwana, and A. A. Rumanti, “Supply Chain Risk Mitigation for Logistics Service Companies,” *J. Sist. Tek. Ind.*, vol. 25, no. 2, 2023, doi: 10.32734/jsti.v25i2.11402.
- [14] T. Simmachan, N. Wongsai, S. Wongsai, and R. Lerdsuwansri, “Modeling road accident fatalities with underdispersion and zero-inflated counts,” *PLoS One*, vol. 17, no. 11 November, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0269022.
- [15] S. Y. Gelbal, B. Aksun-Guvenc, and L. Guvenc, “Vulnerable Road User Safety Using Mobile Phones with Vehicle-to-VRU Communication,” *Electron.*, vol. 13, no. 2, 2024, doi: 10.3390/electronics13020331.
- [16] B. Aninditya, D. Dinariana, and F. Suryani, “Implementation of the Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (HIRARC) Method on Erection Girder Work of South Japek II Toll Road Construction Project Package 3,” *Interdisciplinary J. Hummanity*, vol. 2, no. 9, 2023, doi: 10.58631/injury.v2i9.127.
- [17] D. K. S N, “Accident Risk Prediction through Machine Learning: A Comprehensive Study,” *INTERANTIONAL J. Sci. Res. Eng. Manag.*, vol. 07, no. 08, 2023, doi: 10.55041/ijsrem25419.
- [18] S. Munir, M. Ahsan, and S. Hussain, “Wildlife Mortality on Single Track Bhalwal Road, Sargodha, Pakistan,” *Lahore Garrison Univ. J. Life Sci.*, vol. 7, no. 01, 2023, doi: 10.54692/lgujls.2023.0701236.
- [19] H. R. Zadry *et al.*, “Traffic Accident in Indonesia and Blind Spot Detection Technology—An Overview,” in *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2022. doi: 10.1007/978-981-16-4115-2_18.
- [20] D. Parthiban, D. S. Vijayan, M. H. Shadhil, U. Reshma, and R. Krishnan, “Analysis of Road Accident with Prediction Model Using Machine Learning Algorithm in the Region of Kerala,” in *AIP Conference Proceedings*, 2022. doi: 10.1063/5.0111414.
- [21] A. B. Z. Chai, B. T. Lau, M. K. T. Tee, and C. McCarthy, “Comparative analysis of regional variations in road traffic accident patterns with association rule mining,” *EAI Endorsed Trans. Pervasive Heal. Technol.*, vol. 9, 2023, doi: 10.4108/eetpht.9.3173.
- [22] I. R. Kim, K. Kim, and E. Song, “An Analysis of the Effectiveness of Mitigation Measures at Roadkill Hotspots in South Korea,” *Diversity*, vol. 15, no. 12, 2023, doi: 10.3390/d15121199.
- [23] R. J. Gowd, S. P. Mishra, and A. Mishra, “Road Safety of Agglomerating Cities in India—

- Bhubaneswar," *Curr. J. Appl. Sci. Technol.*, 2022, doi: 10.9734/cjast/2022/v41i1931739.
- [24] U. Ilyasu, M. M. Yakudu, and A. A. Abdulwasiu, "Predictive Analysis of Road Traffic Accidents in Katsina State, Nigeria Using Machine Learning Algorithms: A Study on Factors and Mitigation Strategies," *Int. J. Sci. Glob. Sustain.*, vol. 9, no. 2, 2023, doi: 10.57233/ijsgs.v9i2.475.
- [25] C. Xu, H. Hu, and H. Wang, "A Theoretical Study on the Resilience Evaluation Method of Operational Road Tunnel Systems," *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 24, 2023, doi: 10.3390/app132413279.
- [26] M. Makhani and N. Bodkhe, "ROAD TRAFFIC ACCIDENTS AND THEIR AFTERMATH: THE VICTIMS PERSPECTIVE," *Int. J. Med. Toxicol. Leg. Med.*, vol. 25, no. 3–4, 2022, doi: 10.5958/0974-4614.2022.00052.3.
- [27] Juniar Perkasa Setia Laksana, Sabarudin, and Raudha Hakim, "Implementation of Traffic Safety Management on Road Sections with Non-Standard Grades," *East Asian J. Multidiscip. Res.*, vol. 1, no. 11, 2022, doi: 10.55927/eajmr.v1i11.2067.
- [28] D. Klich, M. Perlińska-Teresiak, H. Bluhm, T. Kuemmerle, M. Wojciechowska, and W. Olech, "Increasing mortality of European bison (*Bison bonasus*) on roads and railways," *Glob. Ecol. Conserv.*, vol. 48, 2023, doi: 10.1016/j.gecco.2023.e02703.
- [29] S. S. Salleh, "RANKING PARENTS CONCERNS ABOUT ROAD SAFETY AT SCHOOL USING AN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS," *Plan. Malaysia*, vol. 21, no. 4, 2023, doi: 10.21837/pm.v21i28.1320.
- [30] Z. Yang *et al.*, "Risk Assessment of Sudden Water Pollution Accidents Associated with Dangerous Goods Transportation on the Cross-Tributary Bridges of Baiyangdian Lake," *Water (Switzerland)*, vol. 15, no. 16, 2023, doi: 10.3390/w15162993.
- [31] C. Du, M. Ouyang, H. Zhang, B. Wang, and N. Wang, "Resilience patterns of urban road networks under the worst-case localized disruptions," *Risk Anal.*, 2023, doi: 10.1111/risa.14236.
- [32] S. Boddupalli, A. S. Rao, and S. Ray, "Resilient Cooperative Adaptive Cruise Control for Autonomous Vehicles Using Machine Learning," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 23, no. 9, 2022, doi: 10.1109/TITS.2022.3144599.