JURNAL LOCUS: Penelitian & Pengabdian
Volume 5 No. 11 November 2026, pp 9820-9832
E-ISSN 2829-7334
DOI: 10.58344/locus.v5i11.6340

Implementasi *Internet of Things* (IoT) dalam Monitoring dan Preservasi Infrastruktur Jalan dengan Peran *Stakeholder* sebagai Variabel *Intervening*

Yamrudin*, Mawardi Amin
Universitas Mercu Buana, Indonesia
Email: 1deansyhanifan@gmail.com*, mawardi@mercubuana.ac.id

Kata kunci:
Internet of Things (IoT); Monitoring; Road Infrastructure Preservation; Stakeholder Role; SEM-PLS.

This is an open access article under the CC BY-SA license.

Copyright © 2026 by Author. Published by Riviera Publishing

Abstrak

Road infrastructure is an essential component that supports community mobility and economic growth, requiring a system of continuous monitoring and preservation. The development of Internet of Things (IoT) technology offers opportunities to improve the speed and accuracy of road condition information; However, the success of implementation depends not only on the technological aspect but also on the involvement of stakeholders in translating monitoring data into conservation decisions and actions. This study analyzes the influence of IoT Monitoring and IoT Implementation for Preservation on the Efficiency of Monitoring and Preservation of Road Infrastructure, with the Role of Stakeholders as an intermediate variable. Quantitative approach to explanation with case study design was applied to ten road segments in Bogor Regency. Data was collected from 71 respondents (Owners, Consultants, Contractors, and IoT experts) using a 1-6 Likert-scale questionnaire validated by experts and analyzed with Structural Equation Modeling-Partial Least Squares (SEM-PLS) using SmartPLS software. The results show that the seven hypotheses are supported: IoT Monitoring and IoT Implementation for Preservation have a positive and significant influence on Stakeholder Roles and Monitoring-Preservation Efficiency, either directly or through partial mediation of Stakeholder Roles (with the model explaining 87.9% efficiency variance ($R^2 = 0.879$). The most influential factors include the location and cause of the damage, camera and sensor monitoring systems, the resilience of the road network, the maintenance classification model, and regulatory changes along with the limitations of field mobilization. These findings confirm that successful digital transformation in road infrastructure management requires the integration of IoT technology with effective stakeholder governance.

Kata Kunci:
Internet of Things (IoT); Pemantauan; Pelestarian Infrastruktur Jalan; Peran Pemangku Kepentingan; SEM-PLS.

abstrak

Infrastruktur jalan merupakan komponen penting yang mendukung mobilitas komunitas dan pertumbuhan ekonomi, membutuhkan sistem pemantauan dan pelestarian yang berkelanjutan. Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan peluang untuk meningkatkan kecepatan dan akurasi informasi kondisi jalan; Namun, keberhasilan implementasi tidak hanya bergantung pada aspek teknologi tetapi juga pada keterlibatan pemangku kepentingan dalam menerjemahkan data pemantauan menjadi keputusan dan tindakan pelestarian. Studi ini menganalisis pengaruh Pemantauan IoT dan Implementasi IoT untuk Pelestarian terhadap Efisiensi Pemantauan dan Pelestarian Infrastruktur Jalan, dengan Peran Pemangku Kepentingan sebagai variabel yang berperantara. Pendekatan kuantitatif penjelasan dengan desain studi

kasus diterapkan pada sepuluh segmen jalan di Kabupaten Bogor. Data dikumpulkan dari 71 responden (Pemilik, Konsultan, Kontraktor, dan ahli IoT) menggunakan kuesioner skala 1-6 Likert-scale yang divalidasi oleh ahli dan dianalisis dengan *Structural Equation Modeling-Partial Least Squares* (SEM-PLS) menggunakan perangkat lunak SmartPLS. Hasilnya menunjukkan bahwa ketujuh hipotesis tersebut didukung: Pemantauan IoT dan Implementasi IoT untuk Pelestarian memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap Peran Pemangku Kepentingan dan Efisiensi Pemantauan-Pelestarian, baik secara langsung maupun melalui mediasi parsial Peran Pemangku Kepentingan (dengan model menjelaskan 87,9% variansi efisiensi (R^2 = 0,879). Faktor yang paling berpengaruh meliputi lokasi dan penyebab kerusakan, sistem pemantauan kamera dan sensor, ketahanan jaringan jalan, model klasifikasi pemeliharaan, serta perubahan regulasi bersama dengan keterbatasan mobilisasi lapangan. Temuan ini menegaskan bahwa transformasi digital yang sukses dalam manajemen infrastruktur jalan memerlukan integrasi teknologi IoT dengan tata kelola pemangku kepentingan yang efektif.

PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan merupakan salah satu pilar utama mobilitas komunitas dan aktivitas ekonomi (Apriliyaningsih et al., 2025; Siahay et al., 2023; Zulfahmi et al., 2025). Kondisi jalan yang baik tidak hanya ditentukan oleh keberhasilan tahap pengembangan, tetapi juga oleh kemampuan manajer untuk memantau dan melestarikan secara berkelanjutan (Affendi, 2023; Ahmad et al., 2024; Munizar, 2025; Sulistyo & Satyadharma, 2025). Manajemen infrastruktur jalan membutuhkan sistem pemantauan yang mampu menghasilkan informasi tentang kondisi jalan dengan cepat, akurat, dan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pemeliharaan oleh para pemangku kepentingan di tingkat pemerintah daerah (Iwandri & Septiyanti, 2025; Kuntariningsih, 2026; Silalahi, 2025).

Perkembangan teknologi digital membuka peluang besar untuk meningkatkan sistem pemantauan dan pelestarian infrastruktur jalan, salah satunya adalah melalui penerapan Internet of Things (IoT), yaitu teknologi yang menghubungkan perangkat, sensor, sistem komunikasi, dan sistem pemrosesan data sehingga informasi tentang kondisi objek dapat diperoleh dan diproses lebih cepat. Dalam konteks infrastruktur jalan, IoT dapat digunakan untuk memperoleh informasi real-time tentang kondisi jalan dan mendukung identifikasi serta deteksi dini potensi kerusakan (Indriyati et al., 2026; Saing, 2026; Umar, 2025; Wibowo & Kom, 2026). Forum IoT Indonesia memperkirakan pasar IoT nasional akan mencapai sekitar IDR 444 triliun pada tahun 2022, dengan komposisi konten dan aplikasi sebesar IDR 192,1 triliun, platform sebesar IDR 156,8 triliun, perangkat sebesar IDR 56 triliun, serta jaringan dan gateway sebesar IDR 39,1 triliun, disertai kebutuhan akan sekitar 400 juta unit perangkat sensor. Sebanyak 88,5% responden survei forum menyatakan perlunya regulasi pemerintah terkait layanan publik berbasis IoT, baik dalam hal lisensi penyampaian layanan maupun regulasi frekuensi jaringan. Kondisi ini menunjukkan potensi besar serta tantangan dalam menerapkan IoT di berbagai sektor, termasuk infrastruktur jalan (Gautama et al., 2025; Pratama et al., 2025; Ruseno & Rantina, 2025).

Pada tahun 2030, sektor konstruksi Indonesia diproyeksikan menjadi pasar terbesar keempat di dunia setelah China, Amerika Serikat, dan India, sehingga diperlukan terobosan inovatif untuk meningkatkan produktivitas konstruksi. Integrasi teknologi informasi dan

komunikasi—dengan IoT sebagai salah satu manifestasi utamanya dalam kerangka revolusi industri 4.0—menjadi sangat penting untuk mencapai efisiensi dan kualitas output konstruksi yang lebih baik. Pada tahun 2020, diperkirakan 31 miliar perangkat telah menerapkan sistem IoT dan membangun jaringan komunikasi di antara perangkat itu sendiri, membuktikan adopsi IoT secara luas di berbagai aspek masyarakat, meskipun penerapannya di bidang konstruksi—termasuk infrastruktur jalan—masih relatif terbatas.

Beberapa studi sebelumnya telah menunjukkan manfaat IoT untuk infrastruktur jalan. Ye et al. (2024) mengembangkan sistem pemantauan getaran permukaan jalan berbasis IoT yang mengumpulkan data lalu lintas secara real-time untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi jalan. Mubarak dan Abdurrab (2017) menekankan bahwa jalan sebagai infrastruktur transportasi darat memiliki peran penting dalam mendukung distribusi barang dan jasa, tetapi volume lalu lintas yang tinggi dapat mempercepat penurunan kualitas permukaan jalan, sehingga membahayakan pengguna jika tidak segera ditangani. Ai et al. (2023) menganjurkan integrasi perangkat IoT multi-sensor di daerah terpencil seperti jalan pedesaan untuk memungkinkan pemantauan menyeluruh di area dengan tantangan logistik tinggi, sementara Alrajhi et al. (2023) meninjau berbagai metode deteksi kerusakan jalan berbasis sensor dan teknologi IoT.

Meskipun manfaat teknologi IoT untuk pemantauan infrastruktur jalan telah banyak dipelajari, penerapannya di bidang ini tidak hanya bergantung pada aspek teknis. Implementasi IoT membutuhkan dukungan organisasi, koordinasi antar pihak, ketersediaan sumber daya, kebijakan, pembiayaan, dan kemampuan para pemangku kepentingan untuk menerjemahkan data pemantauan menjadi keputusan dan tindakan pelestarian. Dengan demikian, keberhasilan IoT dalam mendukung pemantauan dan pelestarian jalan tidak hanya ditentukan oleh keberadaan sensor atau perangkat, tetapi juga oleh sejauh mana para pemangku kepentingan—termasuk pemilik proyek, kontraktor utama, subkontraktor, pemasok, dan pemerintah lokal—terlibat secara aktif dalam proses pengambilan keputusan.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh Pemantauan IoT dan Implementasi IoT untuk Pelestarian terhadap Efisiensi Pemantauan dan Pelestarian Infrastruktur Jalan, baik secara langsung maupun melalui mediasi Peran Pemangku Kepentingan. Manfaat teoretis penelitian ini adalah memperkaya literatur manajemen konstruksi dan infrastruktur tentang integrasi teknologi IoT dengan tata kelola pemangku kepentingan, serta memberikan bukti empiris bahwa model integrasi teknologi-pemangku kepentingan lebih tepat digunakan untuk menjelaskan keberhasilan digitalisasi infrastruktur jalan. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi arahan prioritas bagi manajer infrastruktur jalan, pemerintah, kontraktor, dan konsultan dalam mengalokasikan investasi teknologi dan membangun kapasitas institusional untuk mengelola data IoT menjadi keputusan pelestarian yang efektif.

METODE PENELITIAN

Jenis dan Desain Riset

Studi ini menggunakan pendekatan kuantitatif penjelasan untuk menganalisis hubungan sebab-akibat antara konstruksi dalam model penelitian, yaitu Pemantauan IoT (X1), Implementasi IoT untuk Pelestarian (X2), Peran Pemangku Kepentingan (X3), dan Pemantauan serta Efisiensi Pelestarian (Y). Desain penelitian menggabungkan pendekatan

studi kasus untuk memberikan konteks empiris terhadap penerapan IoT dalam manajemen infrastruktur jalan, dengan analisis kuantitatif berdasarkan *Structural Equation Modeling-Partial Least Squares* (SEM-PLS) untuk menguji hubungan langsung dan tidak langsung antara variabel. Tahap awal penelitian dilakukan melalui studi literatur untuk merumuskan judul dan masalah penelitian secara jelas dan koheren, diikuti dengan tahap pendalaman studi untuk merumuskan kondisi terkini, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, dan hipotesis.

Objek dan Lokasi Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah pengelolaan dan penerapan IoT dalam proyek pengembangan infrastruktur jalan di wilayah Kabupaten Bogor, Jawa Barat, yang mencakup sepuluh bagian jalan, yaitu Mengker-Gunung Batu, Sukamakmur-Citeureup, Garehong-Pasir Ipis, Leuwiliang Ring, Perbatasan Ciampea-Dramaga, Bojong Koneng, Jasinga Raya, Jasinga-Cigudeg, Jasinga Lingkar, dan Rumpin Raya. Bagian jalan ini dipilih karena berfungsi sebagai jalur utama untuk mobilitas komunitas dan distribusi barang di wilayah distrik, sehingga kondisi dan keberlanjutan layanan mereka berdampak langsung pada aktivitas ekonomi komunitas lokal.

Populasi dan Sampel

Ukuran sampel ditentukan menggunakan rumus Slovin berdasarkan populasi sub-faktor variabel studi (N = 100). Tahap pertama menghitung ukuran sampel awal (m) dengan tingkat kepercayaan 95% (Z = 1,96), proporsi varians maksimum (P = 0,5), dan margin kesalahan (ε = 0,05), menghasilkan $m = (1{,}96^2 \times 0{,}5 \times 0{,}5) / 0{,}05^2 = 384{,}16$. Nilai m kemudian dikoreksi untuk populasi terbatas melalui rumus $n = m / (1 + (m - 1)/N)$, sehingga $n = 384{,}16 / (1 + 383{,}16/100)$ diperoleh ≈ 71 responden. Berdasarkan perhitungan ini, kuesioner didistribusikan dalam bentuk cetak kepada 100 calon responden sebagai antisipasi data yang tidak lengkap, dan 71 kuesioner (71%) diperoleh yang valid untuk analisis, sesuai dengan kebutuhan sampel minimum. Responden terdiri dari Kontraktor (46 orang; 64,79%), Pemilik (11; 15,49%), Konsultan (11; 15,49%), dan Ahli IoT eksternal (3; 4,23%). Sebelum disebarkan, kuesioner tersebut divalidasi oleh tiga ahli dengan pengalaman lebih dari 20 tahun di bidang infrastruktur jalan—masing-masing menjabat sebagai *Resident Engineer, General Superintendent,* dan *Head of IT Department*—diikuti dengan survei percontohan terhadap lima calon responden untuk menguji kejelasan item pernyataan sebelum penyebaran kuesioner utama. Kriteria responden yang digunakan meliputi keterlibatan langsung dalam proyek pengembangan infrastruktur jalan yang menjadi objek penelitian, pengalaman kerja di bidang terkait, latar belakang pendidikan yang memadai, dan afiliasi dengan organisasi atau lembaga yang terlibat dalam manajemen infrastruktur jalan.

Teknik pengumpulan data

Pengumpulan data dalam studi ini menggunakan tiga teknik utama. Teknik wawancara digunakan pada tahap investigasi awal untuk mengidentifikasi masalah dan mengeksplorasi wawasan dari sejumlah responden terbatas secara lebih komprehensif. Teknik observasi digunakan untuk mengamati kondisi aktual di lapangan pada bagian jalan yang menjadi objek penelitian. Teknik dokumentasi digunakan untuk memperoleh data pendukung dalam bentuk representasi visual dan arsip relevan guna memvalidasi hasil penelitian. Data primer dikumpulkan melalui kuesioner pada skala Likert 1-6, dengan skor 1 untuk Sangat Tidak Setuju, 2 untuk Sangat Tidak Setuju, 3 untuk Tidak Setuju, 4 untuk Setuju, 5 untuk Sangat Setuju, dan 6 untuk Sangat Setuju. Skala enam poin ini dipilih untuk mendorong responden

memberikan penilaian yang lebih tegas dan meminimalkan kecenderungan menjawab secara netral. Data sekunder diperoleh dari studi literatur dalam bentuk jurnal, buku, dan dokumentasi terkait objek penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Responden

Karakteristik dari 71 responden studi berdasarkan jenis kelamin, usia, pendidikan terakhir, dan pengalaman kerja disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Responden Riset

Kategori	Kelompok	n	%
Jenis kelamin	Laki-laki	62	87,32
	Wanita	9	12,68
Usia	< 30 tahun	11	15,49
	30–40 tahun	29	40,85
	40–50 tahun	13	18,31
	> 50 tahun	18	25,35
Pendidikan	SMA	8	11,27
	D3	3	4,23
	S1	36	50,70
	S2	21	29,58
	S3	3	4,23
Pengalaman Kerja	< 5 tahun	8	11,27
	5–10 tahun	21	29,58
	10–15 tahun	18	25,35
	15–20 tahun	10	14,08
	> 20 tahun	14	19,72

Mayoritas responden adalah laki-laki (87,32%), berusia 30–40 tahun (40,85%), dengan pendidikan S1 (50,70%), dan 59,15% memiliki pengalaman kerja lebih dari 10 tahun. Profil ini menunjukkan bahwa responden memiliki kompetensi dan pengalaman yang cukup untuk menilai praktik pemantauan dan pelestarian infrastruktur jalan berbasis IoT.

Selain profil umum ini, distribusi responden berdasarkan posisi dalam proyek infrastruktur jalan disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi Responden Berdasarkan Posisi

Departemen	n	%
Pengawas	15	21,13
Insinyur	14	19,72
Pemilik	11	15,49
Manajer Proyek	8	11,27
Kepala Insinyur	5	7,04
Kepala Inspektur	5	7,04
Inspektur	4	5,63
Manajer Situs	4	5,63
Para ahli	3	4,23
Pemimpin Tim	2	2,82
Total	71	100,00

Distribusi posisi menunjukkan bahwa responden didominasi oleh posisi teknis lapangan seperti Supervisor (21,13%) dan Insinyur (19,72%), yang berinteraksi langsung dengan aktivitas pemantauan dan pelestarian di lapangan setiap hari, sehingga jawaban yang diberikan mencerminkan kondisi operasional nyata.

Kombinasi profil gender, usia, posisi, pendidikan, dan pengalaman kerja menunjukkan bahwa data studi ini berasal dari kelompok responden yang mewakili struktur organisasi proyek infrastruktur jalan, termasuk pengambil keputusan strategis (Pemilik, Manajer Proyek, Kepala Insinyur) dan pelaksana teknis di lapangan (Supervisor, Insinyur, Inspektur), sehingga jawaban kuesioner mencerminkan beragam perspektif tentang penerapan IoT dalam pemantauan dan Pelestarian infrastruktur jalan.

Evaluasi Model Pengukuran (Model Luar)

Hasil uji keandalan komposit menunjukkan bahwa semua konstruksi dan dimensi studi memiliki nilai di atas ambang batas 0,7, menunjukkan konsistensi internal yang baik. Tabel 5 menyajikan nilai keandalan komposit untuk empat konstruksi utama studi ini.

Tabel 3. Nilai Keandalan Komposit Konstruksi Utama

Konstruksi	Keandalan Komposit	Catatan
Pemantauan IoT (X1)	0,976	Valid
Implementasi IoT untuk Pelestarian (X2)	0,973	Valid
Peran Pemangku Kepentingan (X3)	0,985	Valid
Efisiensi Pemantauan dan Pelestarian (Y)	0,950	Valid

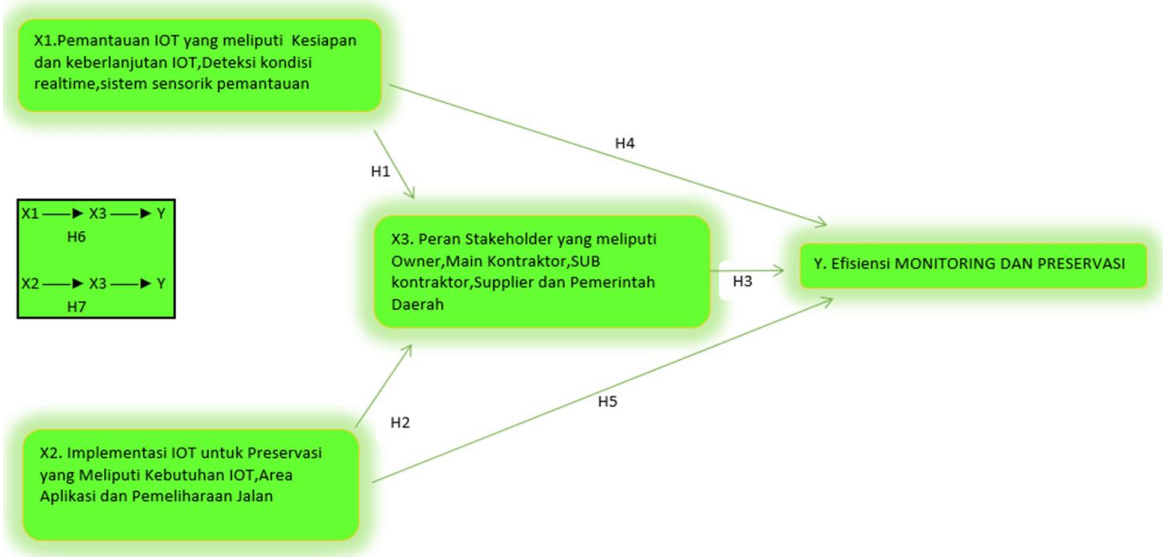
Semua 14 dimensi yang membentuk keempat konstruksi juga memiliki nilai reliabilitas komposit antara 0,853–0,985, sehingga semua model pengukuran dinyatakan valid dan andal—nilai terendah ditemukan pada dimensi Rencana Cadangan IoT (0,853) dan nilai tertinggi pada konstruksi Peran Pemangku Kepentingan (0,985). Hasil evaluasi beban luar menunjukkan bahwa setiap dimensi memiliki hubungan kuat dengan konstruksinya, dengan beban tertinggi di X2 dibandingkan dimensi Area Aplikasi (0,995) dan X1 terhadap dimensi Sistem Sensorik Transportasi (0,990). Dalam konstruksi Peran Pemangku Kepentingan, beban tertinggi ditemukan pada dimensi Pemilik (0,977), diikuti oleh Kontraktor Utama (0,967) dan Subkontraktor (0,955), sementara dalam konstruksi Monitoring dan Preservation Efficiency,

dimensi Preservation Efficiency memiliki beban tertinggi (0,978) dibandingkan dengan Monitoring Efficiency (0,931). Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa setiap indikator secara konsisten mewakili konstruksi laten yang diukurnya, sehingga validitas konvergen dari model pengukuran terpenuhi.

Pengujian validitas diskriminan menggunakan kriteria akar kuadrat Average Variance Extracted (AVE), yang mengharuskan nilai akar dari sebuah konstruksi AVE lebih besar daripada korelasinya dengan konstruksi lain dalam model. Hasil uji menunjukkan bahwa keempat konstruksi penelitian—Pemantauan IoT, Implementasi IoT untuk Pelestarian, Peran Pemangku Kepentingan, dan Pemantauan serta Efisiensi Pelestarian—memenuhi kriteria ini, sehingga setiap konstruksi terbukti berbeda secara empiris satu sama lain (validitas diskriminan terpenuhi) dan memungkinkan untuk digunakan dalam pengujian model struktural pada tahap berikutnya.

Evaluasi Model Struktural dan Pengujian Hipotesis

Nilai R^2 untuk konstruksi Efisiensi Pemantauan dan Pelestarian adalah 0,879, menunjukkan bahwa 87,9% variasi efisiensi pemantauan dan pelestarian infrastruktur jalan dapat dijelaskan oleh Pemantauan IoT, Implementasi IoT untuk Pelestarian, dan Peran Pemangku Kepentingan dalam model penelitian ini. Merujuk pada kriteria umum kekuatan model R^2 dalam SEM-PLS—dengan ambang batas R^2 sebesar > 0,67 untuk kategori kuat, 0,33–0,67 untuk kategori sedang, dan 0,19–0,33 untuk kategori lemah—nilai ini diklasifikasikan sebagai kategori kuat, sehingga model penelitian ini memiliki kekuatan jelas yang tinggi terhadap fenomena pemantauan efisiensi dan pelestarian infrastruktur jalan berbasis IoT. Kerangka konseptual dan jalur hipotetis penelitian disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka konseptual dan jalur hipotetis penelitian

Hasil pengujian hipotesis melalui prosedur bootstrapping SEM-PLS disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Hipotesis

hipotesis	jalur	Koefisien Jalur	T-Statistik	nilai-p	Catatan
H1	X1 → X3	0,657	6,211	0,000	Diterima
H2	X2 → X3	0,329	3,094	0,000	Diterima
H3	X3 → Y	0,944	72,558	0,000	Diterima
H4	X1 → Y	0,667	6,521	0,000	Diterima
H5	X2 → Y	0,339	3,099	0,000	Diterima
H6	X1 → X3 → Y (tidak langsung)	0,620	6,284	0,000	Diterima
H7	X2 → X3 → Y (tidak langsung)	0,311	3,063	0,002	Diterima

Ketujuh hipotesis penelitian diterima karena nilai statistik-T > 1,96 dan nilai P < 0,05. Peran Pemangku Kepentingan (X3) menunjukkan pengaruh terkuat terhadap Efisiensi Pemantauan dan Pelestarian (β = 0,944), diikuti oleh pengaruh langsung dari Pemantauan IoT (β = 0,667) dan Implementasi IoT untuk Pelestarian (β = 0,339). Nilai efek tidak langsung yang signifikan pada H6 dan H7 menunjukkan bahwa Peran Pemangku Kepentingan berfungsi sebagai mediator parsial dalam hubungan antara dua variabel IoT dan efisiensi pemantauan serta pelestarian, yang berarti kedua variabel IoT memengaruhi efisiensi baik secara langsung maupun melalui keterlibatan pemangku kepentingan.

Faktor Paling Berpengaruh

Analisis lebih lanjut terhadap nilai beban luar pada tingkat indikator mengidentifikasi lima faktor yang paling berpengaruh pada setiap konstruksi, seperti yang disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Indikator Paling Berpengaruh pada Setiap Konstruksi

Konstruksi	Peringkat	Indikator	Memuat
Pemantauan IoT (X1)	1	Lokasi dan penyebab kesalahan	0,954
	2	Sistem kamera	0,925
	3	Sensor getaran	0,919
	4	Sensor piezoelektrik	0,892
	5	Sensor non-intrusif	0,888
Implementasi IoT untuk Pelestarian (X2)	1	Ketahanan jaringan jalan	0,969
	2	Model multi-kriteria klasifikasi/evaluasi pemeliharaan jalan	0,967
	3	Resolusi pemadaman listrik yang tak terduga	0,900
	4	Jaringan jalan pintar	0,860
	5	Sinyal lalu lintas cerdas	0,832
Peran Pemangku Kepentingan (X3)	1	Perubahan peraturan pembangunan (pajak)	0,968

Konstruksi	Peringkat	Indikator	Memuat
	2	Lisensi proyek yang berkepanjangan	0,964
	3	Akses ke mobilisasi material ke lokasi	0,941
	4	Akses mobilisasi dan demobilisasi pekerja	0,928
	5	Kekurangan tenaga kerja	0,920

Di sisi Pemantauan IoT, faktor lokasi dan penyebab kerusakan adalah indikator paling dominan, diikuti oleh sistem kamera dan berbagai jenis sensor (getaran, piezoelektrik, non-intrusif) yang mendukung deteksi dini kondisi jalan. Di sisi IoT untuk Implementasi Pelestarian, ketahanan jaringan jalan serta model multi-kriteria untuk pemeliharaan, klasifikasi, dan evaluasi adalah faktor paling menentukan efektivitas pelestarian. Adapun Peran Pemangku Kepentingan, tantangan non-teknis seperti perubahan regulasi pembangunan, proses lisensi yang berkepanjangan, dan hambatan akses terhadap mobilisasi material dan tenaga kerja di lapangan adalah aspek yang paling memengaruhi peran pemangku kepentingan dalam mendukung efisiensi pemantauan dan pelestarian.

Jika dibandingkan antar konstruksi, pola faktor paling berpengaruh menunjukkan karakteristik yang berbeda: faktor pada Pemantauan IoT dan Implementasi IoT untuk Pelestarian didominasi oleh aspek teknis-operasional (lokasi kesalahan, sistem sensor, ketahanan jaringan, model klasifikasi pemeliharaan), sementara faktor pada Peran Pemangku Kepentingan didominasi oleh aspek administratif dan koordinasi (regulasi, lisensi, mobilisasi sumber daya). Perbedaan karakteristik ini menunjukkan bahwa strategi meningkatkan efisiensi pemantauan dan pelestarian infrastruktur jalan berbasis IoT perlu menggabungkan penguatan kapasitas teknis di sisi teknologi dengan penyederhanaan proses administratif dan penguatan koordinasi di sisi kelembagaan.

Dampak Pemantauan IoT terhadap Peran Pemangku Kepentingan (H1)

Hasil uji menunjukkan bahwa Pemantauan IoT memiliki efek positif dan signifikan terhadap Peran Pemangku Kepentingan, dengan koefisien jalur 0,657, statistik T 6,211, dan nilai P 0,000, sehingga H1 diterima. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin baik implementasi sistem pemantauan berbasis IoT, semakin besar kebutuhan keterlibatan dan koordinasi pemangku kepentingan dalam pengelolaan pemantauan dan pelestarian infrastruktur jalan. Teknologi IoT tidak dapat dipandang sebagai sistem mandiri; Data dan informasi yang dihasilkan oleh sistem pemantauan masih mengharuskan para pemangku kepentingan untuk menafsirkan, membuat keputusan, mengoordinasikan, dan menindaklanjuti pelestarian. Kondisi ini sesuai dengan praktik di lapangan, di mana informasi kerusakan yang terdeteksi oleh sistem IoT umumnya memerlukan verifikasi dan keputusan tindak lanjut dari Supervisor, Insinyur, dan Pemilik sebelum langkah-langkah pelestarian dapat diterapkan.

Dampak Implementasi IoT untuk Pelestarian terhadap Peran Pemangku Kepentingan (H2)

Implementasi IoT untuk Pelestarian memiliki dampak positif dan signifikan terhadap Peran Pemangku Kepentingan, dengan koefisien jalur 0,329, statistik T 3,094, dan nilai P 0,000, sehingga H2 diterima. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan IoT dalam aktivitas pelestarian membutuhkan keterlibatan pemangku kepentingan untuk memastikan informasi, keputusan, sumber daya, dan tindakan pelestarian dapat berjalan secara terkoordinasi.

Penerapan teknologi tidak hanya terkait dengan perangkat dan sistem, tetapi juga dengan koordinasi, sumber daya, pengambilan keputusan, pelaksanaan pekerjaan, dan pengawasan.

Pengaruh Peran Pemangku Kepentingan terhadap Efisiensi Pemantauan dan Pelestarian (H3)

Peran para pemangku kepentingan memiliki efek positif dan signifikan terhadap efisiensi Pemantauan dan Pelestarian, dengan koefisien jalur 0,944, statistik T sebesar 72,558, dan nilai P sebesar 0,000, sehingga H3 diterima. Nilai koefisien adalah yang tertinggi di antara semua jalur yang diuji, menunjukkan hubungan yang sangat kuat dalam model penelitian. Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan pemantauan dan pelestarian tidak hanya bergantung pada kemampuan sistem IoT untuk menghasilkan data, tetapi juga—dan bahkan terutama—pada kemampuan para pemangku kepentingan untuk menggunakan informasi tersebut dalam mengambil keputusan dan mengambil tindakan yang diperlukan. Hal ini konsisten dengan proporsi responden penelitian yang didominasi oleh posisi teknis dan manajerial (Supervisor, Insinyur, Manajer Proyek, dan Pemilik), yang berperan langsung dalam menerjemahkan hasil pemantauan menjadi keputusan dan tindakan pelestarian di lapangan.

Pengaruh Langsung Pemantauan dan Implementasi IoT untuk Pelestarian Efisiensi (H4 dan H5)

Pemantauan IoT telah terbukti memiliki efek positif dan signifikan secara langsung pada Efisiensi Pemantauan dan Pelestarian, dengan koefisien jalur 0,667, statistik T 6,521, dan nilai P 0,000, sehingga H4 diterima. Demikian pula, implementasi IoT untuk Pelestarian memiliki efek positif dan signifikan langsung terhadap Efisiensi Pemantauan dan Pelestarian, dengan koefisien jalur 0,339, statistik T 3,099, dan nilai P 0,000, sehingga H5 diterima. Kedua hasil ini menunjukkan bahwa teknologi IoT terus memberikan kontribusi langsung terhadap kecepatan dan akurasi proses pemantauan dan pelestarian, melampaui jalur keterlibatan pemangku kepentingan, dengan pengaruh langsung pemantauan IoT yang relatif lebih besar dibandingkan penerapan IoT untuk pelestarian. Hal ini masuk akal secara operasional, karena data pemantauan real-time cenderung berdampak lebih langsung pada efisiensi dibandingkan proses implementasi pelestarian, yang umumnya melibatkan tahap perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan fisik di lapangan.

Peran Mediasi Pemangku Kepentingan terhadap Pengaruh Dua Variabel IoT terhadap Efisiensi (H6 dan H7)

Hasil uji efek tidak langsung menunjukkan bahwa Pemantauan IoT memiliki efek tidak langsung terhadap Efisiensi Pemantauan dan Pelestarian melalui Peran Pemangku Kepentingan, dengan nilai efek tidak langsung 0,620, T-statistik 6,284, dan P-nilai 0,000, sehingga H6 diterima. Implementasi IoT untuk Pelestarian juga memiliki efek tidak langsung terhadap Efisiensi Pemantauan dan Pelestarian melalui Peran Pemangku Kepentingan, dengan nilai efek tidak langsung sebesar 0,311, T-statistik sebesar 3,063, dan P-value sebesar 0,002, sehingga H7 diterima. Karena kedua variabel IoT memiliki pengaruh langsung dan tidak langsung yang signifikan terhadap efisiensi, Peran Pemangku Kepentingan berfungsi sebagai mediasi parsial—dengan kata lain, IoT menghasilkan informasi, pemangku kepentingan mengubah informasi tersebut menjadi keputusan dan tindakan, sementara efisiensi adalah salah satu hasil akhir dari proses tersebut.

Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa penerapan IoT untuk pemantauan dan pelestarian infrastruktur jalan perlu ditempatkan dalam kerangka sistem rekayasa yang

mengintegrasikan teknologi, data, orang, organisasi, dan proses pengambilan keputusan. IoT memiliki kemampuan untuk meningkatkan kualitas informasi tentang kondisi infrastruktur, namun manfaat ini akan optimal jika didukung oleh keterlibatan pemangku kepentingan yang efektif. Oleh karena itu, keberhasilan transformasi digital dalam manajemen infrastruktur jalan bukan hanya soal penyediaan teknologi, tetapi juga membangun tata kelola, kompetensi, koordinasi, dan proses rekayasa yang mampu mengubah data menjadi keputusan dan tindakan pelestarian.

Implikasi Penelitian

Secara teori, hasil studi ini memperkuat studi manajemen konstruksi dan infrastruktur terkait penerapan Internet of Things (IoT), khususnya dengan menunjukkan bahwa Peran Pemangku Kepentingan dapat diposisikan sebagai variabel intervensi yang secara empiris memediasi hubungan antara teknologi IoT dan efisiensi pemantauan-pelestarian infrastruktur jalan. Temuan pola mediasi parsial pada H6 dan H7 memberikan bukti empiris bahwa model integrasi teknologi-pemangku kepentingan lebih tepat digunakan untuk menjelaskan keberhasilan digitalisasi infrastruktur jalan daripada model yang hanya berfokus pada aspek teknologi. Temuan ini juga memperluas pemahaman tentang variabel yang berinteraksi dalam konteks manajemen infrastruktur, yang telah dipelajari lebih lanjut dalam konteks manajemen sumber daya manusia atau perilaku organisasi, sehingga memberikan perspektif baru untuk pengembangan model penelitian serupa pada jenis infrastruktur lainnya.

Secara praktis, temuan tentang faktor-faktor paling berpengaruh memberikan arahan prioritas bagi manajer infrastruktur jalan, pemerintah, kontraktor, dan konsultan. Dalam aspek pemantauan, investasi teknologi harus diprioritaskan pada sistem identifikasi lokasi dan penyebab kesalahan, sistem kamera, serta sensor getaran, piezoelektrik, dan non-intrusi, mengingat kelima indikator ini memiliki beban tertinggi pada konstruksi Pemantauan IoT. Dalam hal pelestarian, memperkuat ketahanan jaringan jalan dan mengembangkan model multi-kriteria untuk klasifikasi/evaluasi pemeliharaan harus menjadi prioritas bagi program pelestarian berbasis IoT. Sementara itu, pengaruh tinggi faktor non-teknis terhadap konstruksi Peran Pemangku Kepentingan—seperti perubahan regulasi pembangunan, proses lisensi yang berkepanjangan, dan keterbatasan akses terhadap mobilisasi material dan tenaga kerja—menunjukkan bahwa pemerintah lokal dan manajer proyek perlu memperkuat koordinasi lintas pemangku kepentingan dan menyederhanakan proses birokrasi agar manfaat teknologi IoT dalam pemantauan dan efisiensi pelestarian dapat dicapai secara optimal.

Bagi kontraktor dan konsultan pelaksana, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam menyiapkan rencana kerja untuk instalasi dan pemeliharaan perangkat IoT di lapangan, termasuk koordinasi penjadwalan dengan pemilik dan pemerintah lokal sejak tahap perencanaan proyek. Bagi pemilik proyek, keterlibatan aktif sejak tahap awal—bukan hanya pada tahap serah terima—perlu dipertimbangkan mengingat dimensi Pemilik memiliki beban luar tertinggi dalam konstruksi Peran Pemangku Kepentingan (Stakeholder Role), yang menunjukkan posisi pemilik sebagai aktor kunci dalam menerjemahkan data IoT ke dalam keputusan pelestarian.

Bagi Kantor Pekerjaan Umum dan lembaga pengelola jalan distrik, hasil studi ini dapat menjadi dasar untuk penyusunan peta jalan investasi IoT yang mempertimbangkan tidak hanya kelayakan teknis perangkat, tetapi juga kesiapan institusional untuk mengelola data dan menindaklanjutinya dalam keputusan pelestarian. Mengingat bahwa Peran Pemangku

Kepentingan terbukti menjadi jalur pengaruh terkuat dalam model penelitian ini, alokasi anggaran untuk pembangunan kapasitas institusional dan mekanisme koordinasi lintas pemangku kepentingan harus diberikan bagian yang setara dengan investasi pada perangkat dan sensor IoT itu sendiri.

KESIMPULAN

Studi ini menganalisis pengaruh Pemantauan IoT dan Implementasi IoT untuk Pelestarian terhadap Efisiensi Pemantauan dan Pelestarian Infrastruktur Jalan, dengan Peran Pemangku Kepentingan sebagai variabel perantara, dalam studi kasus sepuluh jalan di Kabupaten Bogor. Berdasarkan analisis SEM-PLS dari 71 responden, ketujuh hipotesis penelitian tersebut diterima. Pemantauan IoT dan Implementasi IoT untuk Pelestarian masing-masing memiliki dampak positif yang signifikan terhadap Peran Pemangku Kepentingan (H1, H2) dan pada Efisiensi Pemantauan serta Pelestarian baik secara langsung (H4, H5) maupun melalui mediasi parsial dari Peran Pemangku Kepentingan (H6, H7). Peran para pemangku kepentingan terbukti menjadi konstruksi paling berpengaruh terhadap efisiensi pemantauan dan pelestarian (H3), dengan model penelitian mampu menjelaskan 87,9% variasi efisiensi (R^2 = 0,879). Faktor dominan meliputi lokasi/penyebab gangguan dan sistem sensor di sisi pemantauan IoT; ketahanan jaringan jalan dan model klasifikasi pemeliharaan di sisi pelaksanaan pelestarian; serta perubahan regulasi dan hambatan mobilisasi lapangan terkait peran pemangku kepentingan. Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan transformasi digital dalam manajemen infrastruktur jalan membutuhkan integrasi antara teknologi IoT dan tata kelola pemangku kepentingan yang efektif, bukan hanya penyediaan perangkat dan sensor.

Sejalan dengan keterbatasan penelitian di bagian Metode, hasil studi ini perlu diinterpretasikan dalam konteks studi kasus sepuluh jalan di Kabupaten Bogor dengan 71 responden, sehingga generalisasi ke berbagai konteks geografis, jenis infrastruktur, atau skala proyek perlu dilakukan dengan hati-hati. Ruang lingkup studi juga dibatasi pada empat konstruksi utama (Pemantauan IoT, Implementasi IoT untuk Pelestarian, Peran Pemangku Kepentingan, dan Pemantauan serta Efisiensi Pelestarian) tanpa menelaah aspek teknis perangkat keras IoT secara mendalam, sehingga variabel lain yang berpotensi memengaruhi pemantauan dan efisiensi pelestarian—seperti aspek pembiayaan proyek atau kematangan digital organisasi—terbuka untuk diteliti dalam penelitian mendatang.

REFERENSI

Affendi, A. S. (2023). *Analisis Keberhasilan Pelaksanaan Proyek Pembangunan Jalan Sidodadi-Sabara Kota Semarang Tahun Anggaran 2019*. Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia).

Ahmad, S. N., Gusty, S., Isdyanto, A., Rachman, R. M., & Wahyuni, I. P. I. (2024). *Perencanaan dan Manajemen Proyek Pembangunan Jalan Tol*. Tohar Media.

Ai, I., Alahi, E. E., Sukkuea, A., Tina, F. W., Nag, A., Kurdthongmee, W., Suwannarat, K., & Mukhopadhyay, S. C. (2023). Integrasi teknologi berbasis IoT dan kemajuan buatan serta tren masa depan.

Alrajhi, A., Roy, K., Qingge, L., & Kribs, J. (2023). Deteksi cacat kondisi jalan menggunakan berbagai sensor dan teknologi IoT: Sebuah tinjauan. IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems, 4 (Oktober 2022), 372–392. https://doi.org/10.1109/OJITS.2023.3237480

Apriliyaningsih, S., Saepudin, E. A., Putri, R. A., Karmelia, A., & Sandi, M. R. (2025). Kebijakan Pembangunan Infrastruktur Jalan Tol Evaluasi Dampak Pembangunan Jalan Tol Terhadap Peningkatan Konektivitas Antar Daerah, Pertumbuhan Ekonomi Regional, serta Dampaknya Terhadap Masyarakat dan Lingkungan Hidup. *Ekopedia: Jurnal Ilmiah Ekonomi*, *1*(2), 44–53.

Gautama, N., Yunita, Y., & Hidayat, A. (2025). Internet of Things (IoT): Masa Depan Kehidupan Serba Terkoneksi. *Primary Journal of Multidisciplinary Research*, *1*(5), 173–177.

Indriyati, C., Daud, A., Miftahulkhair, M., Balamba, S., Nusantara, J. L. W., Siregar, H. Y., Fortuna, E. D., & Fadhil, A. (2026). *Rekayasa Infrastruktur Berkelanjutan dan Sistem Transportasi Cerdas*. CV. Edu Akademi.

Iwandri, M. A. S., & Septiyanti, R. (2025). Transformasi Digital Pengelolaan Infrastruktur Wilayah oleh PUPR SVJJ Palembang melalui Teknologi Informasi. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Komunikasi (JUPTIK)*, *3*(1), 8–13.

Kuntariningsih, A. (2026). *Manajemen Infrastruktur Pariwisata*. Penerbit NEM.

Mubarak, H., & Abdurrab, U. (2017). Analisis tingkat kerusakan pada permukaan jalan menggunakan metode Indeks Kondisi Perkerasan (PCI). Research Gate, D(April).

Munizar, R. (2025). Identifikasi Faktor dan Model Tahapan Pengembangan Infrastruktur Pariwisata Terintegrasi di Provinsi Bengkulu. *Journal of Engineering and Applied Technology*, *1*(2), 248–260.

Pratama, Y. Y., Mustofa, H., Putra, H. R. A., & Albana, I. (2025). Efektivitas Internet Of Things dalam Mengatasi Permasalahan Lalu Lintas: Tinjauan Literatur. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, *1*(2).

Ruseno, N., & Rantina, M. (2025). Analisis Automation, Keamanan, dan Kecepatan Jaringan 5G dalam Implementasi Internet of Things (IoT). *Jurnal PASTI: Jurnal Publikasi Artikel Sistem Teknologi Informasi*, *1*(1), 55–63.

Saing, Z. (2026). Artificial Intelligence and Data-Driven Approaches for Proactive Road Safety Analysis: A Systematic Review (2021–2025). *JURNAL BIOSAINSTEK*, *8*(2), 28–42.

Siahay, M. C., Ahmad, S. N., Gusty, S., Supacua, H. A. I., Ampangallo, B. A., Rachman, R. M., Latupeirissa, J. E., & Maitimu, A. (2023). *Pembangunan Infrastruktur di Indonesia*. Tohar Media.

Silalahi, A. G. (2025). Sistem Informasi Geografis Prioritas Penanganan Kerusakan Infrastruktur Menggunakan Metode MOORA. *METIK Jurnal*, *9*(1), 170–180.

Sulistyo, G. A., & Satyadharma, M. (2025). Komunikasi dalam Pembangunan Ruas Jalan (Tinjauan Literatur). *Jurnal Pengembangan Sains Dan Teknologi*, *1*(2), 116–124.

Umar, N. (2025). *Sistem Deteksi Dini Kemiringan dan Vibrasi Jembatan Berbasis IoT*. Universitas Hasanuddin.

Wibowo, I. A., & Kom, M. (2026). *AI dalam Transportasi: Transformasi Mobilitas dan Infrastruktur Transportasi*. yayasan penerbit.

Zulfahmi, M., Fatihin, M. K., Dani, R. R., Prabawa, W. G., & Sopyan, D. (2025). Kontribusi Riil Pembangunan Infrastruktur Terhadap Peningkatan Ekonomi di Pedesaan. *Jurnal Noken: Ilmu-Ilmu Sosial*, *11*(2), 340–349.

Ye, Z., Wei, Y., Yang, S., Li, P., Yang, F., Yang, B., & Wang, L. (2024). Sistem infrastruktur jalan pintar yang ditingkatkan IoT untuk pemantauan real-time yang komprehensif. Internet of Things dan Sistem Siber-Fisik, 4, 235–249. https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2024.01.002