ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

I'm roda :*integrated model road damage* konsep sistem pantau kerusakan jalan *real-time*

Giri Widhiatmoko[1,*], Ilya Fadjar Maharika[2]
[1] Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipi; dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia
[2] Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik Sipi; dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info
Available online

***Keywords*:**
Road Damage
ImRODA
CCTV deeplearning
Artivicial Intelligence
Digital Twin

Corresponding Author:
Giri Widhiatmoko
23914007@uii.ac.id

Abstract
Indonesia has a road network spanning 543,720 km, but most of it is still significantly damaged due to vehicle growth that is not matched by infrastructure maintenance. Road condition assessments, which have been conducted manually, require a great deal of time and effort, often making them unresponsive to actual conditions on the ground. To address this challenge, this study proposes the I'm RoDa (Integrated Model Road Damage) concept, a digital-based road damage monitoring system integrated with Artificial Intelligence technology, vehicle sensors, CCTV, and Digital Twin. This system enables near-real-time monitoring of road surface and structural conditions, thereby supporting more effective, efficient, and data-driven road evaluation and repair planning processes. This concept is expected to serve as an innovative solution in road asset management systems in the era of digital transformation.

Copyright © 2025 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Berdasarkan data Statistik Transportasi Darat (2023), Indonesia memiliki jaringan jalan sepanjang 543.729 km yang mencakup jalan nasional, provinsi, dan kabupaten/kota dengan kondisi yang beragam. Jalan nasional tercatat dalam kondisi baik sebesar 39,32%, sedang 54,67%, dan rusak atau rusak berat sebesar 6,01%. Jalan provinsi menunjukkan kondisi baik 58,32%, namun masih terdapat 25,41% dalam kategori rusak dan rusak berat. Adapun jalan kabupaten/kota memiliki proporsi kerusakan tertinggi, dengan 38,5% tergolong rusak dan rusak berat. Tingginya persentase kerusakan ini menunjukkan urgensi evaluasi dan pemeliharaan jalan yang optimal mengingat peran vital perkerasan dalam menunjang mobilitas dan konektivitas nasional.

Jalan merupakan infrastruktur transportasi darat yang memiliki fungsi vital dalam mendukung aktivitas ekonomi, sosial, dan budaya (UU No. 38/2004). Mengingat perannya yang strategis, pembangunan jalan yang berkualitas menjadi kebutuhan utama. Seiring meningkatnya volume lalu lintas dan perkembangan teknologi, kualitas perkerasan jalan perlu mendapat perhatian serius guna menjamin umur layanan yang optimal dengan biaya yang efektif dan efisien.

Untuk menjamin ketahanan dan efektivitas perkerasan jalan, diperlukan evaluasi struktural yang akurat dengan mempertimbangkan ketebalan lapisan, jenis material, dan beban lalu lintas. Meskipun alat evaluasi seperti *Light Weight Deflectometer* (LWD) , *Falling Weight Deflectometer* (FWD), dan *Heavy Weight Deflectometer* (HWD) dapat memberikan hasil yang presisi, biaya dan waktu pelaksanaannya cukup tinggi. Oleh karena itu, diperlukan alternatif yang lebih efisien, salah satunya adalah penggunaan perangkat lunak KENPAVE untuk menganalisis kinerja struktur perkerasan secara lebih ekonomis.

KENPAVE adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Dr. Yang H. Huang dari

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

University of Kentucky dan dapat digunakan sebagai alternatif untuk menganalisis kerentanan perkerasan jalan terhadap beban lalu lintas (Saifullah dkk., 2024). Program ini memanfaatkan data input seperti rasio Poisson, tebal lapisan, kondisi pembebanan, dan modulus elastisitas (Marlina dkk., 2023). Meskipun nilai modulus elastisitas biasanya mengacu pada Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017, kondisi lapangan seringkali berbeda, sehingga diperlukan pengambilan sampel inti (*coredrill*) dan pengujian laboratorium, salah satunya melalui metode *Indirect Tensile Stiffness Modulus* (ITSM).

Pengujian *Indirect Tensile Stiffness Modulus* (ITSM) bertujuan memperoleh nilai kekakuan campuran perkerasan secara tidak langsung. Metode ini awalnya dilakukan dengan pendekatan grafis manual (*Nottingham*), namun kini telah berkembang menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM), seperti UTM-30 IPC GLOBAL yang tersedia di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia. Mesin ini memanfaatkan sensor *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT) untuk mengukur deformasi horizontal secara presisi. Hasil uji berupa modulus elastisitas digunakan sebagai input dalam program KENPAVE untuk menganalisis kondisi struktur perkerasan jalan berdasarkan satuan juta ESAL.

Penilaian kondisi permukaan jalan dapat dilakukan melalui berbagai metode, seperti metode Dirgolaksono dan Indrasurya (1990) yang mencakup kerusakan visual, *Riding Quality* (RQ) (Guntur Ristiyanto dkk., 2023). Selain itu, kondisi drainase, serta metode *International Roughness Index* (IRI), *Surface Distress Index* (SDI), dan *Pavement Condition* Index (PCI) (Tho'atin dkk., 2016). Namun, metode-metode tersebut masih bersifat manual, memerlukan waktu dan biaya yang besar. Untuk menjawab kebutuhan evaluasi yang lebih cepat dan efisien, saat ini telah dikembangkan sistem otomatis berbasis teknologi digital, seperti rekaman drone, *active contour*, *digital image processing*, dan *artificial intelligence* (AI), yang mampu mendeteksi kerusakan jalan secara *real-time* (Husain dkk., 2024).

Salah satu penerapan kecerdasan buatan (AI) dalam pemeliharaan jalan diwujudkan melalui aplikasi PindAI (*Pavement Identification aNd Detection using Artificial Intelligence*), yang dikembangkan oleh tim peneliti yang salah satu anggotanya merupakan dosen di Universitas Islam Indonesia yaitu Ir. Dhomas Hatta Fudholi, S.T., M.Eng., Ph.D.. Aplikasi ini mampu mengidentifikasi kerusakan permukaan jalan secara otomatis dan real-time, sehingga mendukung evaluasi kondisi jalan secara efisien. Namun, integrasi antara data permukaan dari PindAI dan data struktural dari KENPAVE masih belum tersedia. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan konsep integrasi keduanya melalui penerapan sensor dan pendekatan *Digital Twin* untuk menghasilkan sistem pemantauan jalan yang lebih komprehensif.

Digital Twin (DT) merupakan representasi digital dari aset fisik, proses, dan sistem yang berfungsi sebagai alat kontrol dan pengambilan keputusan melalui layanan seperti simulasi, monitoring, dan analisis data (Vatn, 2018). Dalam konteks manajemen jalan, DT digunakan untuk memvisualisasikan kondisi nyata jalan secara real-time melalui integrasi berbagai sumber data, seperti IRI dan koefisien gaya hambat samping, yang kemudian dianalisis menggunakan kecerdasan buatan (AI) untuk mengklasifikasikan kualitas ruas jalan (Consilvio dkk., 2023).

Adapun pada penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu konsep integrasi sistem pemantauan jalan yang efektif dan efisien dengan kondisi hampir *real-time* berbasis digital.

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini bersifat deskriptif kualitatif dengan pendekatan eksploratif. Penelitian dilakukan melalui pengumpulan dan analisis berbagai literatur dan hasil studi terdahulu yang berkaitan dengan perkerasan jalan, metode perolehan data lalu lintas secara real-time, serta teknik evaluasi kondisi struktural perkerasan secara akurat. Setiap komponen dikaji secara sistematis untuk mengidentifikasi kelebihan dan keterbatasan dari pendekatan yang telah ada. Berdasarkan hasil kajian tersebut, penelitian ini merumuskan sebuah konsep sistem baru bernama *Integrated Model Road Damage (*I'm RoDa*)* yang bertujuan untuk memantau kerusakan jalan secara real-time. Konsep sistem ini mengintegrasikan teknologi digital seperti sensor, CCTV berbasis *deep learning*, serta data hasil uji laboratorium perkerasan untuk membentuk kerangka kerja pemantauan terpadu yang efektif, efisien, dan adaptif terhadap kondisi aktual di lapangan.

Perkembangan kendaraan

Pertumbuhan kendaraan di Indonesia yang mencapai rata-rata 4,47% per tahun (2019–2023) sejalan dengan peningkatan ekonomi dan status sosial, namun tidak diimbangi dengan pengembangan infrastruktur jalan, sehingga mempercepat kerusakan struktur dan permukaan perkerasan. Adapun data perkembangan kendaraan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

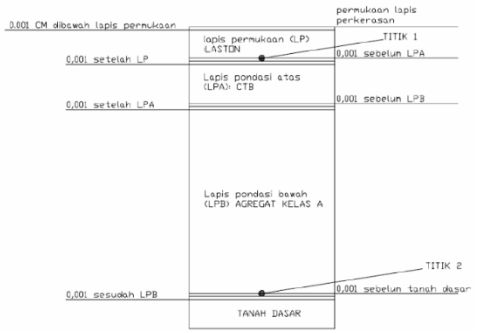
Tabel 1. Perkembangan jumlah kendaraan tahun 2019 - 2023

Jenis Kendaraan *Type of Vehicles*	2019	2020	2021	2022	2023	Pertumbuhan per Tahun *Annually Increase* (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Mobil Penumpang/ *Passenger Car*	15.592.419	15.797.746	16.413.348	18.950.390	19.711.593	**6,04**
Bis/*Bus*	231.569	233.261	237.566	262.435	272.806	**4,18**
Mobil Barang/ *Truck*	5.021.888	5.083.405	5.299.361	5.882.009	6.088.534	**4,93**
Sepeda Motor/ *Motorcycles*	112.771.136	115.023.039	120.042.298	126.957.971	133.061.234	**4,22**
Jumlah /*Total*	**133.617.012**	**136.137.451**	**141.992.573**	**152.052.805**	**159.134.167**	**4,47**

Sumber : Statistik Transportasi Darat Vol 9, 2024

Program KENPAVE

Program KENPAVE menghasilkan analisis berupa tegangan vertikal dan regangan horizontal pada titik tinjauan tertentu. Tegangan vertikal mencerminkan respons perkerasan terhadap beban kendaraan yang dapat menyebabkan deformasi permanen seperti *rutting*, sedangkan regangan horizontal berhubungan dengan kerusakan *fatique cracking* akibat akumulasi regangan berulang tanpa jeda pemulihan (Marlina dkk., 2023). Adapun titik tinjauan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Titik tinjauan reganganan
Sumber : Pambudi & Fauziah, 2021

Titik tinjauan berada di bawah lapisan aspal, atas lapisan pondasi, dan atas tanah dasar, yang menghasilkan regangan vertikal dan horizontal untuk memprediksi kerusakan seperti *fatigue cracking, rutting*, dan *permanent deformation* (Widhiatmoko & Fauziah, 2024).

Dalam perhitungan untuk mencari nilai fatigue cracking, rutting, dan permanent deformation. Adapun persamaan terdapat pada Asphalt Institute (1982) yang dapat dilihat seperti berikut ini.

$$Nf = 0{,}0796 \times \varepsilon t - 3{,}921 \times E - 0{,}854 \quad (1)$$

$$Nr = 1{,}365 \times 10 - 9 \times \varepsilon C - 4{,}47 \quad (2)$$

$$Nd = 1{,}365 \times 10 - 9 \times \varepsilon C - 4{,}47 \quad (3)$$

Dengan :

NF = Nilai *fatigue cracking*
Nr = Nilai pengulangan beban rutting
Nd = Nilai *permanent deformation*

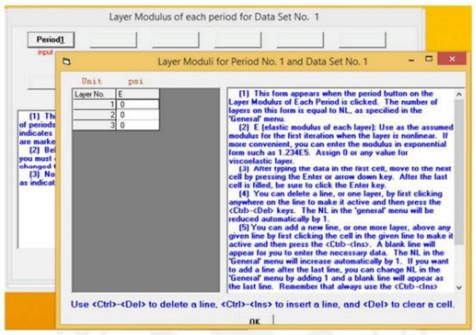
ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

Ɛt = Rengangan tarik arah horizontal bagian bawah lapis aspal
ƐC = Rengangan tarik arah vertikal bagian atas lapisan dasar (Nr), dan bagian bawah lapisan pondasi (Nd)

Modulus elastisitas dan pengujian ITSM

Pada aplikasi KENPAVE terdapat nilai modulus yang harus kita *input*_pada layer Moduli. Dalam menu modul ini terdapat

tampilan layar seperti Gambar Jumlah dari periode pada menu ini sesuai dengan nilai input NYv dalam menu general. Setiap periode memiliki tampilan untuk memasukan nilai E. Nilai E (modulus elastisitas) dimasukan per layer yang ada. Adapun input nilai E pada KENPAVE dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Tampilan layer *moduli*
Sumber : KENPAVE

Nilai modulus elastisitas sudah ditetapkan pada peraturan Bina Marga 2024 Pada Manual Desain Perkerasan Jalan 2024. Selain menggunakan Bina Marga 2024, untuk mengetahui nilai kekakuan dapat dicari dengan perhitungan Sbit dan Smix seperti persamaan (4) dan (5) berikut ini.

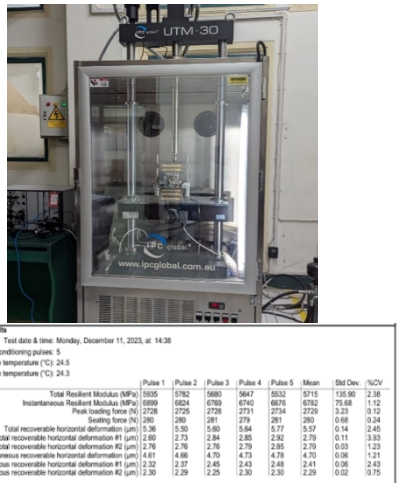
$$S_{bit} = 1{,}154 \times 10^{-1} \times t^{-0{,}368} \times 2{,}718^{-Pir} \times (Spr - T)^5 \quad (4)$$

$$S_{mix} = Sbit\ x\ (1 + \frac{257{,}5 - 2{,}5 x VMA}{n\ x\ (VMA - 3)})^n \quad (5)$$

Dengan :
t = Lama pembebanan 0,01 detik s/d 0,1 detik
Pir = *Recovered Penetration Index* pada 25°C
Spr = *Recovered Softening Point*
T = Temperatur aspal

Akan tetapi perhitungan nilai modulus ini juga masih manual dan belum ada perkembangan, sehingga dibutuhkan alat yang dapat mencari nilai modulus menggunakan teknologi terbaharukan. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah Alat UTM-30 IPC Global dengan pengujian ITSM.

Pengujian laboratorium menggunakan alat ITSM UTM-30 IPC memungkinkan pengukuran kekuatan tarik tidak langsung dan modulus kekakuan perkerasan secara akurat melalui sistem sensor otomatis. Alat ini telah digunakan dalam proyek besar seperti bandara dan jalan nasional, serta dimanfaatkan oleh Laboratorium Jalan Raya UII untuk mendukung evaluasi kualitas konstruksi. Dengan menggunakan alat ini dalam melakukan pengujian ITSM maka, nilai modulus elastisitas eksisting atau *real* dapat diketahui secara langsung. Dan dapat dilihat apakah modulus nya sesuai dengan perencanaan atau tidak (nilainya lebih atau kurang). Adapun mesin UTM-30 di Lab Jalan Raya UII dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Alat UTM-30 dan hasil ITSM
Sumber : Dokumentasi Lab Jalan Raya UII

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

Pavement Identificarion and Detection using Artificial Intelligence (PindAI)

Salah satu jenis AI yang pernah di sayembarakan oleh Tim yang beranggotakan salah satu Dosen Universitas Islam Indonesia adalah Aplikasi bernama PindAI. Aplikasi ini sendiri sudah pernah dilakukan uji coba pada ruas Jalan Bts. Kab. Kulon Progo – Pelem Gurih (Gamping) Yogyakarta (11,21 km) dan Milir-Sentolo (7,9 km). Berdasarkan buku panduan PindAI jenis kerusakan yang dapat di deteksi antara lain retak melintang, retak memanjang, retak buaya, lubang, alur, dan sungkur (Buku Saku PindAI, 2023).

Adapun beberapa tahapan dari proses data dan pengolahan data aplikasi PindAI (Buku Saku PindAI, 2023) sebagai berikut.
Tahap 1: *Data Colletion*, merupakan pemilahan data dan video hasil survey kerusakan jalan di wilayah Provinsi Jawa Tengah dan DI Yogyakarta.
Tahap 2: *Data Preprocessing*, yang terdiri dari *upload data* (ungah data dari hasil pemilihan data ke Roboflow), *annotation* (menentukan kerusakan jalan berupak retak, lubang, alur, dan sungkur), *generate data* (augmentasi dalam pembuatan variasi data tambahan).
Tahap 3: *Modelling*, yang terdiri dari *deploy data,* dan *training data*.
Tahap 4: *Model Evaluation,* yang terdiri dari validasi data untuk akurasi, presisi, recall, pengujian model setelah dianggap cukup baik dengan akurasi yang memadai.
Tahap 5: *Implementation* yang merupakan integrasi kedalam sistem yang digunakan, serta pemantaian kinerja model di lakukan secara teratur.'

Adapun aplikasi PindAI dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini



Gambar 4. Aplikasi PindAI
Sumber : Buku Saku PindAI, 2023

Konsep aplikasi pindAI memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut, khususnya dalam mendukung pemeliharaan jalan. Fokus utama aplikasi ini adalah mendeteksi kerusakan pada permukaan jalan secara visual dan otomatis, namun belum mencakup aspek struktural. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dikembangkan integrasi antara output pindAI dengan data struktural berupa nilai kumulatif beban lalu lintas (dalam juta ESAL) yang diperoleh melalui simulasi perkerasan. Integrasi tersebut diwujudkan dalam konsep *Digital Twin* untuk memberikan dasar pengambilan keputusan perbaikan jalan berdasarkan estimasi sisa umur layanan perkerasan secara lebih akurat dan real-time.

Digital Twin

Sebelum penerapan Digital Twin, diperlukan sistem pemantauan berbasis CCTV dan algoritma Deep Learning untuk mengumpulkan dan menganalisis data lalu lintas secara otomatis. Data jumlah kendaraan dikonversi ke satuan juta ESAL untuk mengetahui beban pada perkerasan. Integrasi CCTV dengan sensor memungkinkan identifikasi kendaraan berdasarkan klasifikasi, sehingga mendukung perencanaan pemeliharaan jalan yang lebih presisi dan menjadi dasar integrasi dalam sistem Digital Twin.

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

Setelah diperoleh data permukaan dari aplikasi pindAI dan data lalu lintas dari integrasi CCTV serta sensor, tahap selanjutnya adalah integrasi seluruh data tersebut ke dalam sistem *Digital Twin* (DT). Mengacu pada penelitian Consilvio et al. (2023), pengembangan DT untuk pemeliharaan jalan melibatkan beberapa lapisan, mulai dari pengumpulan data fisik (*physical layer*) seperti hasil Lidar, kamera NIR, dan CCTV, hingga pengelolaan data pada database layer yang memuat catatan desain, konstruksi, dan pemeliharaan. Model 3D disimpan pada platform *IoT/cloud* dan dianalisis menggunakan *Machine Learning* (ML) di server layer untuk mendukung pengambilan keputusan.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan integrasi beberapa sistem, dikembangkan konsep pemantauan kerusakan jalan secara real-time yang menggabungkan CCTV berbasis deep learning, aplikasi pindAI, alat UTM-30 untuk pengujian ITSM yang hasilnya dianalisis perangkat lunak KENPAVE dalam satu kerangka Digital Twin.

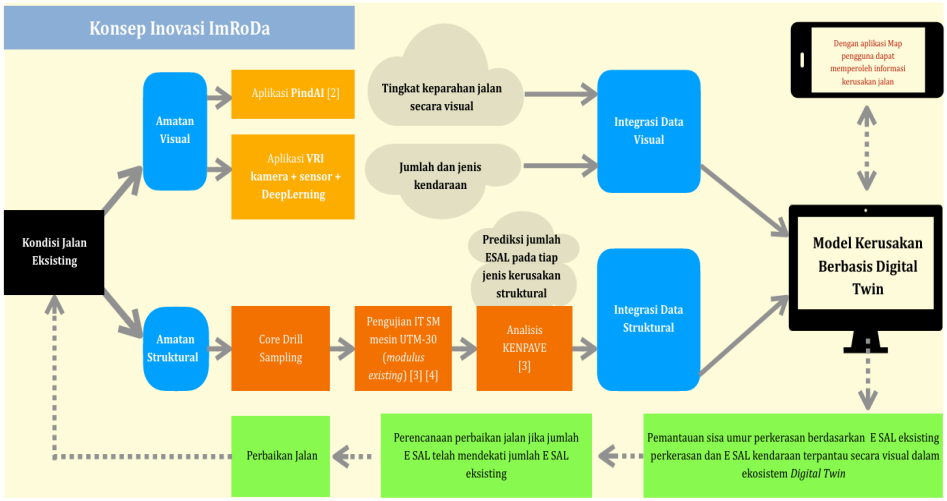
Im RODA (*Integrated Model Road Damage*) merupakan integrasi tiga sistem ke dalam sistem informasi berbasis *Digital Twin* yang mampu merepresentasikan kapan, dimana, dan seberapa parah kerusakan jalan secara *real time.*

Adapun sistem pendukung Im RODA dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Sistem pendukung ImRODA

Kebutuhan	Metode	Hasil
Identifikasi Visual Permukaan Jalan	*Workflow* PindAI Aplikasi dari BBPJN Jawa Tengah – D.I. Yogyakarta yang merupakan Sayembara RDD 2023 – Kementrian PUPR	Perhitungan nilai *Sutface Distress Index* (SDI)
Identifikasi Visual Permukaan Jalan	*Workflow* VRI (*Vehicle Realtime Identification*) Alur kerja untuk mengifentifikasi jenis dan jumlah kendaraan menggunakan kamera dan sensor yang kemudian dianalisis dengan *DeepLearning*	Perhitungan jenis dan kepadatan kendaraan yang lewat di suatu titik
Identifikasi Struktur Jalan	*Workflow* SPI (*Structure Pavement Identification*) Alur kerja untuk mengidentifikasi kekuatan struktur perkerasan jalan eksisting menggunakan teknologi terbaru dan bersifat *sampling*	Data kerusakan jalan pada ruas jalan titik *sampling*

Dari beberapa sistem pendukung ini dibuatkan sebuah Konsep Sistem Im RODA seperti pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Konsep sistem Im RODA

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025



Gambar 5. *Workflow* PindAI

Adapun Gambar 5 berikut ini menjelaskan terkait Alur kerja sistem PindAI diawali dengan penggunaan aplikasi PindAI yang dirancang khusus untuk mendeteksi kerusakan jalan berbasis kecerdasan buatan (AI). Setelah aplikasi aktif, dilakukan survei jalan untuk memindai kondisi permukaan menggunakan kamera smartphone yang dikombinasikan dengan algoritma visual. Proses ini memungkinkan identifikasi otomatis terhadap jenis-jenis kerusakan seperti retak, lubang, dan deformasi permukaan**.**

Hasil survei kemudian masuk ke tahap pengolahan data, di mana kerusakan yang terdeteksi diklasifikasikan dan diberi skor menggunakan metode *Surface Distress Index* (SDI). Nilai SDI mencerminkan tingkat keparahan dan luas kerusakan pada suatu segmen jalan.

Selanjutnya, data SDI yang telah diolah ditransformasikan menjadi peta digital, yang menyajikan informasi spasial kondisi jalan secara visual dan informatif. Peta ini menjadi alat bantu penting dalam pengambilan keputusan pemeliharaan karena memungkinkan pemantauan kondisi jalan secara lebih sistematis, cepat, dan real-time.

Dengan pendekatan ini, PindAI mampu meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam penilaian kondisi permukaan jalan, serta menjadi solusi inovatif dalam manajemen aset jalan berbasis teknologi digital. Adapun *Workflow* VRI dapat dilihat dapa Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. *Workflow* VRI

Sistem VRI dirancang untuk menghitung beban lalu lintas harian dalam bentuk ESAL (*Equivalent Single Axle Load*) secara otomatis melalui integrasi antara CCTV, sensor, dan algoritma *Deep Learning* (DL).

Alur kerja dimulai dari kombinasi CCTV + *Deep Learning* + sensor, di mana kamera CCTV menangkap kendaraan yang melintas di suatu ruas jalan. Kendaraan ini kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi klasifikasi kendaraan dan konfigurasi sumbu roda berdasarkan pedoman Bina Marga 2024, seperti membedakan kendaraan ringan, kendaraan berat, hingga kendaraan multi-sumbu.

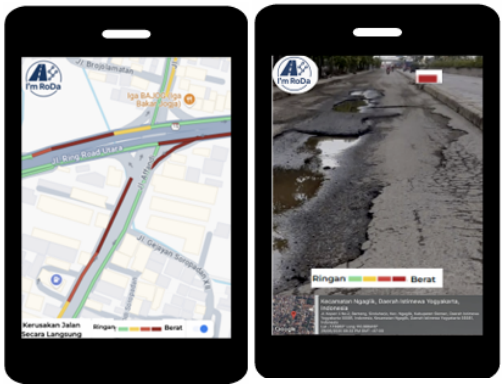
ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

Secara paralel, sensor lalu lintas mencatat jumlah kendaraan yang melintas dalam periode waktu tertentu. Kedua data ini, yaitu jenis kendaraan dan jumlahnya, kemudian diproses oleh sistem berbasis Deep Learning untuk melakukan estimasi beban lalu lintas harian dalam satuan ESAL.

Nilai ESAL yang dihasilkan menggambarkan beban kumulatif yang diterima oleh perkerasan jalan setiap hari, dan menjadi parameter penting dalam analisis umur layanan perkerasan serta perencanaan pemeliharaan jalan.

Dengan pendekatan otomatis dan berbasis data *real-time* ini, sistem VRI mendukung pengumpulan data lalu lintas yang lebih akurat, efisien, dan dapat diintegrasikan ke dalam sistem *Digital Twin* untuk pemantauan kondisi jalan secara berkelanjutan.

Dari konsep sistem ini dibuatkan suatu ilustrasi apabila konsep ini disimulasikan dalam aplikasi. Adapun simulasi Im RoDa dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Simulasi ImRoDa
Sumber : Peta Google Dengan Modifikasi

Pada tampilan pertama, sistem menyajikan peta jalan dengan skema warna—hijau, kuning, merah—yang merepresentasikan tingkat kerusakan: mulai dari kondisi ringan hingga berat. Pemetaan ini memungkinkan pengguna, termasuk instansi publik dan pengelola jalan, untuk mengidentifikasi segmen jalan yang mengalami degradasi secara cepat dan akurat.

Tampilan kedua memperlihatkan visualisasi kondisi jalan secara langsung, yang didukung oleh data hasil deteksi kerusakan dari kamera berbasis AI. Simulasi ini menunjukkan lokasi jalan yang mengalami kerusakan berat, seperti retak, lubang, dan deformasi, serta memberikan keterangan lokasi administratif secara otomatis.

Kedua tampilan ini mencerminkan kemampuan sistem Im RoDa dalam mengintegrasikan data visual, spasial, dan analitis ke dalam satu ekosistem digital. Hal ini sangat penting dalam mendukung proses perencanaan pemeliharaan jalan berbasis data dan kondisi aktual, serta menjadi bagian dari implementasi sistem *Digital Twin* dalam manajemen aset infrastruktur jalan.

Kesimpulan

Integrasi teknologi digital seperti PindAI, ITSM, dan KENPAVE memungkinkan evaluasi kondisi jalan secara menyeluruh, baik permukaan maupun struktur dalam. Semua data diintegrasikan sebagai Digital Twin agar tersaji akurat dan hampir real-time. Dengan data ini maka perencanaan perbaikan dan pemeliharaan jalan bisa dilakukan lebih cepat, eisien, dan tepat sasaran.

Inovasi ini juga mendorong perlunya pelatihan SDM, pemanfaatan sensor, kamera, dan AI, serta integrasi sistem digital yang kuat. Ma nfa at nyata inovasi ini adalah simulasi kerusakan jalan dapat dilihat secara langsung menggunakan aplikasi Maps baik oleh pengguna jalan maupun pengampu kepentingan seperti Bina Marga, PUPR dan instansi lainnya.

Gagasan ini masih merupakan sebuah kerangka konsep sistem. Untuk dapat membuktikan dan menyempurnakan konsep ini perlu dilanjutkan dengan dilakukan penelitian dan evaluasi agar dapat dibuat menjadi aplikasi yang dapat diterapkan dengan akurat

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

Daftar Pustaka

Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik Transportasi Darat Volume 9*.

Buku Panduan UTM-30 Machine Lab Jalan Raya Universitas Islam Indonesia.

Buku Saku PindAI 2023, Sayembara *Road Damage Detection* Berbasis *Artificial Intelligence* Tahun 2023 Kementrial Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat https://fliphtml5.com/ktjxf/oyjv/Buku_Saku_RDD_Berbasis_AI_%281%29/8/

Consilvio, A., Hernández, J. S., Chen, W., Brilakis, I., Bartoccini, L., Di Gennaro, F., & van Welie, M. (2023). Towards a digital twin-based intelligent decision support for road maintenance. *Transportation Research Procedia*, *69*, 791–798. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.237

Guntur Ristiyanto, H., Supranoto, B., Khussain, F., Teknik Sipil Prodi, J. S., Ronggolawe Cepu, S., & Korenspondensi, P. (2023). Prioritas Penanganan Kerusakan Jalan Lentur Berdasarkan Tingkat Kerusakan dan Nilai Ekonomi (Studi Kasus : Jalan Gatot Subroto Blora Sta 0+350-2+850). *Simetris*, *17*(2), 11–22.

Husain, B. H., Osawa, T., Putri, S., Astiti, C., Nandika, M. R., & Agustine, D. (2024). Deteksi Lubang Jalan Secara Otomatis dari Rekaman Drone Menggunakan Model Machine Learning Berbasis YOLOv5 Instance Segmentation di Kota Deteksi Lubang Jalan Secara Otomatis dari Rekaman Drone Menggunakan Model Machine Learning Berbasis YOLOv5 Instance Se. January 2025. https://doi.org/10.52364/zona.v8i2.126

Jenderal, D., Marga, B., Direktorat, S., Bina, J., Direktur, P., Bina, J., Kepala, P., Kerja, S., & Bina, J. (n.d.). *Manual Desain Perkerasan Jalan 2024*.

Marlina, E., Frans, J. H., & Nasjono, J. K. (2023). Analisis Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan Program KENPAVE. *Jurnal Teknik Sipil*, *12*(2), 173–184. https://sipil.ejournal.web.id/index.php/jts/article/view/828/398

Saifullah, R., Safari, I., & Fauziah, M. (2024). *Analisis Pengaruh Overload Kendaraan Terhadap Umur Perkerasan Jalan : Perbandingan Metode Bina Marga 2017 dan Bina Marga 2024 Menggunakan Simulasi KANPAVE*. 1–10.

Septian, M. R. D., Masitoh, A. H., & Sari, I. M. (2024). *Implementation of Deep Learning Algorithm for Vehicle Count Monitoring System*. *5*(4), 143–149.

Tho'atin, U., Setyawan, A., & Mamok, S. (2016). Penggunaan Metode International Roughness Index (IRI), Surface Distress Index (SDI) Dan Pavement Condition Index (PCI) untuk Penilaian Kondisi Jalan Di Kabupaten Wonogiri. *Prosiding Semnastek*, *0*(0), 1–9. https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/685

Vatn, J. (2018). Industry 4.0 and real-time synchronization of operation and maintenance. *Safety and Reliability - Safe Societies in a Changing World - Proceedings of the 28th International European Safety and Reliability Conference, ESREL 2018*, 681–686. https://doi.org/10.1201/9781351174664-84

Widhiatmoko, G., & Fauziah, M. (2024). Analisis Perbandingan Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Viskoelastik Pada Mdpj 2017 Dan Mdp 2024 Menggunakan Kenpave (Studi Kasus : Ruas Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo) *Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun - FTSP UII*.