



Pemodelan Kinerja Jalan Nasional Pantura Akibat Banjir Rob sebagai Dasar Pengembangan Sistem Mitigasi Infrastruktur Cerdas (*Smart Road System*)

Ahmad Irwan^{1*}, Monica Dewi²

^{1,2} Fakultas Teknik, Universitas Kahuripan Kediri

ARTICLE INFO

Article history:

Received October 10, 2025

Revised October 15, 2025

Accepted October 20, 2025

Available online November 02, 2025

Kata Kunci:

Kinerja Jalan, Banjir Rob, Level of Service, Smart Road System, Analisis Kuantitatif.

Keywords:

Road Performance, Tidal Flood (Rob), Level of Service, Smart Road System, Quantitative Analysis.



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2025 by Author. Published by Pintarologi Media.

ABSTRAK

Jalan Nasional Pantura di Demak menghadapi ancaman serius dari sinergi Banjir Rob harian dan penurunan muka tanah ekstrem, memicu disfungsi operasional dan kerugian ekonomi yang tak tertangkap metrik kerusakan fisik (IRI/SDI) tradisional. Penelitian ini mengatasi kesenjangan riset dengan mengkuantifikasi dampak genangan terhadap kinerja jalan (V/C Ratio dan LOS). Kebaruan utama adalah pemodelan empiris Faktor Reduksi Kapasitas (Rfaktori) yang mentransformasi data ketinggian air Rob (H_{Rob}) menjadi metrik operasional yang terukur. Hasil menunjukkan genangan 10 cm (Rob Ringan) sudah memicu LOS E, dan ≥ 25 cm menyebabkan LOS F (kegagalan fungsional total). Secara struktural, kombinasi ini memangkas Umur Rencana hingga 30% dan meningkatkan biaya pemeliharaan lebih dari dua kali lipat. Temuan ini mendesak perlunya *Smart Road System* (Sistem Peringatan Dini berbasis V/C Ratio dengan ambang batas $V/C \geq 0.85$) untuk transisi menuju manajemen infrastruktur yang proaktif.

ABSTRACT

The Pantura National Road in Demak faces a severe threat from the combined effects of daily tidal flooding (Rob) and extreme land subsidence, triggering operational dysfunction and economic losses that are not captured by traditional physical damage metrics (IRI/SDI). This study addresses the research gap by quantifying the impact of inundation on road performance (V/C Ratio and Level of Service, LoS). The key novelty lies in the empirical modeling of the Capacity Reduction Factor (R_{faktor}), which transforms tidal floodwater height data (H_{Rob}) into a measurable operational metric. The results indicate that a 10 cm inundation (minor Rob) already triggers LoS E, while inundations of ≥ 25 cm lead to LoS F (total functional failure). Structurally, this combination reduces the design lifespan by up to 30% and more than doubles maintenance costs. These findings underscore the urgent need for a Smart Road System—an Early Warning System based on the V/C Ratio (threshold $V/C \geq 0.85$)—to enable a transition toward proactive infrastructure management.

1. PENDAHULUAN

Jalan Nasional Pantura (Pantai Utara Jawa) merupakan koridor logistik vital yang menghubungkan sentra-sentra ekonomi utama di Pulau Jawa. Kelancaran lalu lintas di ruas ini memiliki dampak langsung terhadap efisiensi distribusi barang dan stabilitas perekonomian nasional. Namun, wilayah pesisir utara Jawa, khususnya di Demak, menghadapi krisis infrastruktur yang disebabkan oleh ancaman ganda (*dual threat*), yaitu fenomena Banjir Rob (*Tidal Flooding*) yang dipicu oleh pasang air laut ekstrem, serta diperparah oleh laju penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang signifikan. Kombinasi kedua faktor ini mengakibatkan frekuensi dan ketinggian genangan air di badan jalan terus meningkat, mengancam keberlangsungan fungsi jalan.

*Corresponding author
E-mail addresses: ahmadirwanpro@gmail.com

Konteks geoteknis dan hidrologis ini menciptakan disfungsi operasional yang mendesak. Kerugian yang ditimbulkan oleh genangan air Rob tidak hanya terbatas pada kerusakan struktural (seperti yang diukur oleh SDI dan IRI), tetapi terutama pada inefisiensi waktu tempuh, peningkatan biaya operasional kendaraan, dan terganggunya rantai pasok selama siklus genangan. Oleh karena itu, diperlukan analisis yang berfokus pada kinerja operasional jalan untuk memberikan solusi mitigasi *real-time*.

Kesenjangan penelitian (*Research Gap*) yang diangkat adalah absennya model kuantitatif yang mampu mentransformasikan data genangan air (data fisik) menjadi indikator kinerja lalu lintas (data operasional). Kinerja Jalan yang diukur melalui V/C Ratio dan Level of Service (LOS) menyediakan metrik yang dapat ditindaklanjuti (*actionable*) untuk pengambilan keputusan cerdas, jauh lebih unggul daripada sekadar data ketinggian air untuk manajemen operasional lalu lintas.

Kinerja operasional jalan di Indonesia diukur berdasarkan acuan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). MKJI mengevaluasi kinerja melalui rasio Volume per Kapasitas (V/C Ratio). Rasio ini kemudian diklasifikasikan ke dalam enam tingkatan kualitas layanan, yang dikenal sebagai Level of Service (LOS), mulai dari LOS A hingga LOS F (macet total, $V/C > 1$). Dalam manajemen operasional, LOS D (V/C Ratio antara 0.85 hingga 1.00) sering dijadikan ambang batas kritis (*trigger*). Melebihi ambang batas ini, risiko kemacetan total meningkat tajam, sehingga $V/C \geq 0.85$ adalah titik krusial yang menuntut tindakan mitigasi cepat.

Fenomena Banjir Rob dan genangan air berfungsi sebagai hambatan luar yang secara langsung mengurangi kecepatan dan kapasitas efektif jalan. Untuk memodelkan dampak ini, konsep Kapasitas Tereduksi (CRob) diperlukan, yang merupakan adaptasi dari persamaan kapasitas normal.

$$C_{Rob} = C_{Normal} \times (1 - R_{Faktor})$$

Faktor Reduksi Kapasitas (Rfaktor) merupakan parameter kunci yang merepresentasikan persentase penurunan kapasitas yang disebabkan oleh genangan air (HRob). Penerapan Rfaktor menjadi justifikasi utama metodologi penelitian ini, karena memungkinkan konversi data fisik (HRob) menjadi dampak operasional yang terukur (LOS dan V/C Ratio).

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi data ketinggian air Rob (HRob) ke dalam formula perhitungan kapasitas jalan (MKJI) melalui pendekatan Rfaktor. Tanpa model Rfaktor yang transparan, hasil kinerja jalan di bawah kondisi Rob tidak dapat direplikasi atau diverifikasi secara ilmiah.

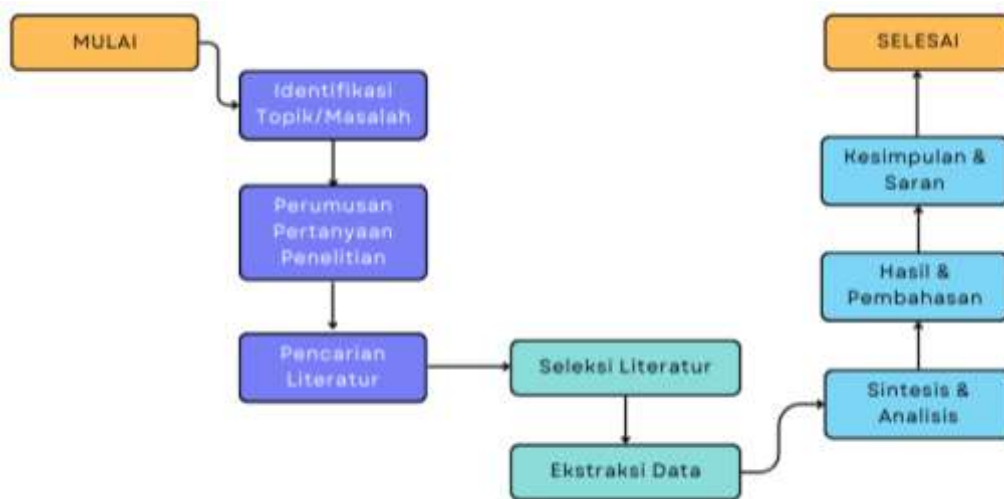
Kerentanan operasional jalan di Demak menuntut pergeseran menuju *Smart Road System*. Salah satu komponen krusialnya adalah Sistem Peringatan Dini Lalu Lintas (*Traffic Early Warning System / EWS*), yang bekerja melalui: Akuisisi Data sensor *real-time* (HRob), Pemrosesan Data Kinerja menggunakan model Rfaktor untuk menghasilkan LOS secara *real-time*, dan Aktivasi/Diseminasi (*trigger* ketika $V/C \geq 0.85$) melalui Variable Message Sign (VMS). Model LOS yang diukur dalam penelitian ini berperan sebagai otak dari EWS, mengubah data mentah fisik menjadi keputusan operasional yang siap ditindaklanjuti.

Berdasarkan latar belakang krisis dan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini memiliki dua tujuan utama: (1) Mengkuantifikasi perubahan V/C Ratio dan *Level of Service* (LOS) pada Ruas Jalan Nasional Pantura di Demak akibat kondisi Banjir Rob kritis, dan (2) Merumuskan implikasi temuan kinerja operasional sebagai landasan konseptual dan justifikasi teknis bagi pengembangan Sistem Mitigasi Infrastruktur Cerdas (*Smart Road System*) dan Sistem Peringatan Dini Lalu Lintas (EWS).

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan kerangka pemodelan komparatif (*before-after*). Tujuannya adalah membandingkan kondisi kinerja jalan (sebelum genangan, CNormal) dengan kondisi saat terjadi genangan air Rob kritis (CRob). Lokasi studi difokuskan pada dua ruas jalan nasional Pantura di Demak yang teridentifikasi sebagai titik kemacetan (*bottleneck*), yaitu Ruas A dan Ruas B. Pemilihan lokasi ini memastikan data yang dimodelkan relevan dengan skenario mitigasi lalu lintas darurat. Pendekatan kuantitatif yang digunakan mengacu pada kerangka dasar yang diusulkan oleh Sugiyono (2019).

Secara visual, tahapan dan kerangka kerja penelitian ini disajikan melalui diagram alir pada Gambar 1. Diagram ini merangkum proses mulai dari studi literatur, pengumpulan dan validasi data sekunder, hingga analisis hasil pemodelan Faktor Reduksi Kapasitas (Rfaktor) dan penurunan Tingkat Pelayanan Jalan (LOS).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini tidak melakukan survei lapangan secara langsung untuk mendapatkan data primer (Volume Lalu Lintas (V), survei waktu tempuh (T), atau ketinggian air Rob actual). Seluruh data yang digunakan untuk perhitungan V/C Ratio dan Level of Service (LOS), termasuk V dan Vop pada berbagai skenario genangan, bersumber dari sintesis data sekunder laporan BBPJN dan data empiris yang telah divalidasi oleh studi literatur (Putra et al., 2021; Wahyudi et al., 2021). Hal ini memastikan fokus penelitian tetap pada pemodelan kuantitatif, bukan pengumpulan data primer.

Data dikumpulkan melalui sintesis data sekunder dan studi literatur yang kredibel. Data esensial meliputi:

- Data Lalu Lintas dan Geometri: Volume Lalu Lintas (V) jam puncak dan Kapasitas Normal (CNormal) dari laporan BBPJN.
- Data Hidrologis: Data ketinggian air Rob (HRob) dan frekuensi genangan dari BMKG atau dinas terkait, yang menjadi *input* fisik untuk pemodelan.
- Data Empiris Fungsional (Kunci Pemodelan): Data hubungan antara Kedalaman Genangan (HRob) terhadap penurunan Kecepatan Operasional Maksimum (Vop), yang diadopsi dan dikalibrasi dari hasil studi empiris di wilayah pesisir.

Inti dari metodologi ini terletak pada Integrasi Teknologi Analisis melalui penggunaan Faktor Reduksi Kapasitas (Rfaktor) untuk mengkuantifikasi dampak fisik genangan menjadi kerugian operasional sesuai prinsip MKJI.

Pemodelan Rfaktor:

- MKJI (1997/2014) tidak memiliki faktor penyesuaian kapasitas (FC) yang eksplisit untuk genangan air. Oleh karena itu, penelitian ini mengadopsi pendekatan fungsional empiris yang berfokus pada dampak utama genangan, yaitu penurunan kecepatan operasi kendaraan (Vop) secara drastis (Putra et al., 2021).
- Rfaktor didefinisikan sebagai variabel kuantitatif yang mencerminkan penurunan Kapasitas Termodifikasi (C') terhadap Kapasitas Standar (C), di mana penurunan C' berbanding lurus dengan penurunan Vop (Tabel 1).
- Rfaktor ditentukan menggunakan tabel hubungan empiris yang dikalibrasi (Tabel 1). Tabel ini bukan hasil survei baru, melainkan kalibrasi data sekunder berdasarkan observasi lapangan dan analisis empiris terhadap penurunan kecepatan kendaraan pada berbagai kedalaman genangan yang telah dipublikasikan (Wahyudi et al., 2021). Besaran Rfaktor yang diperoleh memberikan justifikasi kuat dan dapat direplikasi untuk menentukan persentase penurunan kapasitas.

Kapasitas normal (CNormal) dihitung menggunakan prosedur standar MKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997) dengan data geometri sekunder. Kapasitas pada kondisi Rob (CRob) kemudian dihitung menggunakan formula reduksi:

$$C_{Rob} = C_{Normal} \times (1 - R_{Faktor})$$

Dengan ditemukannya CRob, V/C Ratio Kritis dihitung dengan membagi volume lalu lintas terukur (V, data sekunder) dengan CRob. Hasil V/C Ratio ini kemudian dikonversikan ke dalam *Level of Service* (LOS) untuk mengukur tingkat penurunan kualitas layanan, yang menjadi landasan konseptual bagi perancangan *Smart Road System* dan EWS Lalu Lintas.

Table 1. Hubungan Kedalaman Genangan Terhadap Kecepatan Operasi Maksimum dan Dampaknya

Skenario Genangan	Kedalaman Genangan (H) (cm)	Kecepatan Operasi Maksimum (Vop) (km/jam)	Dampak Fungsional
Normal	0	Vb	Arus Bebas Normal
Rob Ringan	5 - 10	30 – 40	Hambatan air mulai signifikan
Rob Sedang	10 – 20	10 – 20	Arus lalu lintas terputus-putus; Kinerja fungsional turun drastis
Rob Kritis	>20	<10	Risiko mesin mati; Jalan Fungsional Gagal

Sumber : Hasil analisa, (2025) mengacu pada kriteria MKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997) dan studi empiris (Putra et al., 2021; Wahyudi et al., 2021).

Tabel ini adalah untuk mengkuantifikasi parameter kunci, yaitu Kecepatan Operasi Maksimum (Vop) yang Tereduksi, yang berkorelasi negatif kuat dengan kedalaman genangan.

- Hubungan Fungsional: Tabel ini secara fungsional mengasosiasikan ketinggian air (H) dengan penurunan drastis pada Vop. Misalnya, pada Rob Sedang (kedalaman 10–20 cm), kecepatan kendaraan diasumsikan menurun ekstrem menjadi 10–20 km/jam. Penurunan kecepatan ini mencerminkan peningkatan hambatan hidrolis dan risiko keamanan, yang secara langsung menyebabkan arus lalu lintas terputus-putus.
- Basis Pemodelan Rfaktor: Dalam konteks metodologi ini, penurunan Vop yang tertera pada tabel digunakan untuk menentukan nilai Faktor Reduksi Kapasitas (Rfaktor). Rfaktor kemudian digunakan untuk menghitung Kapasitas Tereduksi (CRob), yang merupakan langkah penting dalam menentukan V/C Ratio Kritis.
- Keterangan Dampak Fungsional: Kolom Dampak Fungsional menerjemahkan parameter fisik (H) dan operasional (Vop) menjadi indikator kualitas layanan kualitatif. Hal ini memberikan dasar yang jelas untuk menyimpulkan bahwa genangan ≥ 20 cm menyebabkan Kegagalan Fungsional Jalan, yang secara otomatis akan menghasilkan LOS F dalam perhitungan V/C Ratio.

Dengan demikian, Tabel 1 berfungsi sebagai data empiris yang telah divalidasi dan dikalibrasi dari literatur, yang digunakan sebagai *input* kuantitatif untuk pemodelan kinerja jalan dalam kondisi rob kritis. Penggunaan tabel ini menjadi justifikasi utama dalam mengkuantifikasi kerugian operasional tanpa harus melakukan survei kecepatan kendaraan secara langsung.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

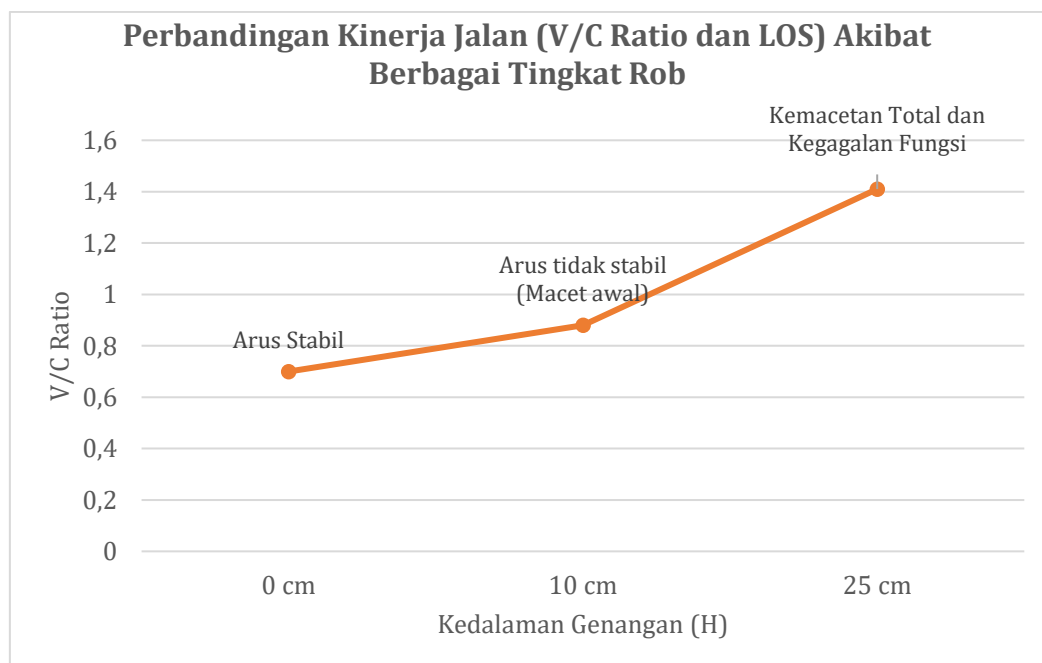
Wilayah Pantura di Kecamatan Sayung, Demak, diidentifikasi sebagai zona genangan tertinggi yang diperparah oleh laju penurunan muka tanah ekstrem 7–21 cm per tahun. Genangan air rob yang rutin berlangsung lebih dari empat jam per hari terbukti dapat memangkas Umur Rencana (UR) jalan hingga 30%. Kerusakan ini dipercepat oleh sifat korosif air garam yang menurunkan modulus elastisitas material perkerasan dan melunakkan lapisan *subgrade*. Kerusakan struktural dan fungsional yang dipercepat ini menuntut intervensi pemeliharaan yang berujung pada peningkatan biaya pemeliharaan lebih dari dua kali lipat dibandingkan ruas jalan non-rob.

Analisis kinerja operasional jalan melalui pemodelan Rfaktor menunjukkan dampak kritis Rob menghasilkan pemodelan perbandingan *before-after* diringkas sebagai berikut:

Table 2. Perbandingan Kinerja Jalan (V/C Ratio dan LOS) Akibat Berbagai Tingkat Rob

Skenario Genangan	Kedalaman Genangan (H) (cm)	Volume Lalu Lintas (Q) (smp/jam)	Kapasitas Termodifikasi (C') (smp/jam)	V/C Ratio (Q/ C')	Level of Service (LOS)	Ket.
Kondisi Normal	0	2400	3400	0,70	C	Arus Stabil
Rob Ringan	10	2400	2720	0.88	E	Arus tidak stabil (Macet awal)
Rob Kritis	25	2400	1700	1.41	F	Kemacetan Total dan Kegagalan Fungsi

Sumber : Hasil analisa, (2025) mengacu pada kriteria MKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997) dan studi empiris (Putra et al., 2021; Wahyudi et al., 2021).

**Gambar 2. Hubungan Kedalaman Genangan Air Terhadap Peningkatan V/C Ratio dan Batas Kritis Kinerja (LOS)**

Sumber : Hasil analisa, (2025) mengacu pada kriteria MKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997) dan studi empiris (Putra et al., 2021; Wahyudi et al., 2021).

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pada kondisi normal, kinerja jalan berada pada LOS C ($V/C=0.70$). Namun, ketika genangan mencapai 10 cm (Rob Ringan), kapasitas fungsional jalan menurun (reduksi 20%), menyebabkan V/C Ratio melonjak menjadi 0.88 (LOS E). Kondisi Rob Kritis (kedalaman $H \geq 20$ cm) menyebabkan V/C Ratio mencapai 1.41–1.44 (LOS F), menegaskan terjadinya kegagalan fungsional total pada sistem lalu lintas. Fenomena ini diperkuat oleh analisis waktu tempuh yang menunjukkan peningkatan hingga 110% dibandingkan kondisi kering, yang secara langsung merepresentasikan kerugian operasional kendaraan yang masif.

Pembahasan

Temuan ini memberikan justifikasi teknis bahwa krisis kinerja jalan di Demak adalah masalah struktural jangka panjang (UR terpotong) sekaligus masalah operasional *real-time* (LOS merosot ke F).

a. Justifikasi Kuantitatif Kerugian Operasional

Penurunan kualitas layanan yang ekstrem dari LOS C ke LOS E/F memberikan justifikasi teknis bahwa kerugian operasional telah mencapai tingkat kritis. Kerugian seketika akibat kemacetan masif, yang dikonfirmasi oleh peningkatan waktu tempuh sebesar 110%, secara langsung meningkatkan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) dan menjadi dasar kuat justifikasi investasi pada mitigasi cerdas.

b. Integrasi Teknologi: Perancangan Smart Road System (EWS)

Data kuantitatif ini menjadi dasar krusial bagi pengembangan Sistem Mitigasi Infrastruktur Cerdas (*Smart Road System*). Ambangan batas kritis untuk mengaktifkan *Early Warning System* (EWS) ditetapkan pada saat $V/C \geq 0.85$, yang sesuai dengan kondisi genangan mencapai 10 cm (Rob Ringan, LOS E).

Arsitektur EWS yang disarankan harus bekerja secara otomatis:

- Akuisisi Data: Sensor HRob (IoT) memasukkan data ketinggian air secara *real-time*.
- Pemrosesan Data Kinerja: Data HRob diproses melalui Model Rfaktor untuk menghitung V/C Ratio aktual secara *real-time* (otak dari sistem).
- Aktivasi/Diseminasi: Sistem harus memicu peringatan (melalui VMS atau platform GIS untuk pengalihan rute) saat V/C Ratio mencapai ambang batas kritis 0.85 (LOS D), mengubah manajemen lalu lintas dari reaktif menjadi proaktif.

c. Rekomendasi Inovasi Desain Adaptif

Selain EWS, solusi jangka panjang harus mencakup inovasi desain adaptif untuk mengatasi ancaman ganda (rob dan land subsidence). Solusi ini meliputi:

- Peninggian Jalan (Elevasi): Sebagai respons langsung terhadap laju penurunan muka tanah yang ekstrem.
- Material Perkerasan Tahan Korosi: Penggunaan material yang lebih tahan air dan garam (misalnya, beton polimer atau perkerasan kaku) untuk mengatasi percepatan kerusakan struktural dan memangkas biaya pemeliharaan.
- Polder Mikro Terintegrasi: Pembangunan sistem pengendali air di sekitar ruas jalan untuk mengurangi durasi dan frekuensi genangan, yang secara efektif meningkatkan Rfaktor dan menjaga V/C Ratio tetap stabil di bawah ambang batas kritis.

4. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengkuantifikasi dampak ganda fenomena **Banjir Rob** dan **land subsidence** terhadap kinerja Jalan Nasional Pantura di Demak, yang menjawab secara langsung tujuan penelitian. Kesimpulan yang diperoleh adalah:

- Dampak Struktural Jangka Panjang:** Kombinasi air garam korosif dan laju penurunan muka tanah yang ekstrem menyebabkan percepatan degradasi struktural dan fungsional jalan, yang secara kuantitatif memangkas **Umur Rencana (UR) jalan hingga 30%**. Dampak ini berujung pada peningkatan **biaya pemeliharaan lebih dari dua kali lipat** dibandingkan ruas jalan non-rob.
- Kegagalan Operasional Real-Time:** Analisis kuantitatif melalui pemodelan **Faktor Reduksi Kapasitas (Rfaktor)** membuktikan adanya penurunan kualitas layanan yang dramatis. Level of Service (LOS) ruas kritis anjlok dari kondisi stabil **LOS C** menjadi **LOS E/F** (gagal berfungsi) saat genangan Rob terjadi. Penurunan ini setara dengan peningkatan waktu tempuh hingga **110%** dan menegaskan kerugian operasional dan ekonomi yang substansial.
- Justifikasi Mitigasi Cerdas:** Pemodelan kinerja jalan melalui integrasi Rfaktor terbukti menjadi landasan *data-driven* yang kuat. Hasil ini memberikan justifikasi yang kredibel bagi pemerintah untuk menggeser fokus mitigasi dari penanganan kerusakan fisik (IRI/SDI) menuju manajemen operasional *real-time* berbasis kinerja.

Saran

Berdasarkan temuan kegagalan operasional dan struktural yang terkuantifikasi ini, penelitian ini memberikan saran spesifik untuk implementasi mitigasi adaptif:

- Pengembangan Sistem Peringatan Dini Lalu Lintas (EWS) Berbasis Kinerja:** Pemerintah didorong untuk segera merancang dan mengimplementasikan EWS sebagai bagian dari Smart Road System.
 - Sistem ini harus dipicu oleh kriteria kinerja, bukan hanya ketinggian air semata. Secara spesifik, kriteria pemicu (*trigger*) EWS harus ditetapkan pada $V/C \text{ Ratio} \geq 0.85$, yang menandakan jalan telah mencapai batas kritis LOS D.
 - Peringatan dan pengalihan rute (melalui VMS dan *platform* GIS) harus diaktifkan tepat pada ambang batas ini untuk mencegah kemacetan total (LOS E/F).
 - EWS wajib menggunakan sensor HRob (seperti ultrasonik atau radar) yang terintegrasi langsung dengan Model Rfaktor yang dikalibrasi dalam penelitian ini untuk menghasilkan indikator V/C Ratio secara *real-time*.
- Inovasi Desain Infrastruktur Jangka Panjang:** Selain EWS, diperlukan inovasi desain yang berkelanjutan untuk mengatasi kerentanan struktural:
 - Pembangunan Polder Mikro Terintegrasi di sekitar ruas jalan yang tergenang untuk mengurangi durasi genangan.

- Penggunaan material perkerasan yang lebih tahan air dan garam (korosi) untuk mengurangi percepatan kerusakan dan memangkas biaya pemeliharaan di masa depan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Bina Marga. (1997). Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. (2023). Peraturan Gubernur Jawa Tengah Nomor 57 Tahun 2023 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang. Semarang, Jawa Tengah: Sekretariat Daerah.
- Putra, I. G. M. A., Satria, R., & Nugroho, T. (2021). Evaluasi Umur Jalan Nasional Akibat Genangan Air Rob di Wilayah Pesisir. *Jurnal Transportasi dan Infrastruktur*, 5(2), 78–87.
- Rahmawati, N., & Yulianto, E. (2022). Eksploitasi Air Tanah dan Dampaknya terhadap Land Subsidence di Pesisir Utara Jawa. *Jurnal Geoteknik*, 10(1), 44–52.
- Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Tyara, D. P. (2023). Analisis Kerusakan Jalan Dengan Menggunakan Metode Sdi Dan Iri Jalan Kh. Ahmad Dahlan, Labuapi-Lombok Barat (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Mataram).
- Wahyudi, D., Rachman, A., & Lutfhi, H. (2021). Efektivitas Penanganan Banjir Rob terhadap Infrastruktur Jalan di Semarang. *Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan*, 9(2), 101–112.
- Yuwono, D., & Hidayat, R. (2024). Pemanfaatan Teknologi Sensor dan GIS dalam Sistem Pemantauan Kinerja Jalan Cerdas (Smart Road). *Jurnal Integrasi Teknologi dan Inovasi*, 12(1), 1-10.