

Strategi Peningkatan Pengawasan Kelaikan Prasarana dan Sarana Untuk Mendukung Keselamatan Perjalanan Kereta Api

Andi Guntur Asapa

Sekretariat Direktorat Jenderal Perkeretaapian, Direktorat Jenderal Perkeretaapian,
Kementerian Perhubungan
e-mail: andiguntur84@yahoo.com

Abstrak

Seiring meningkatnya mobilitas masyarakat, tuntutan terhadap layanan transportasi perkeretaapian yang andal, aman dan selamat juga semakin tinggi. Tuntutan ini menjadi perhatian publik dengan trend kenaikan jumlah kecelakaan kereta api pada Tahun 2024-2026. Dalam rangka mendukung keselamatan perjalanan kereta api, diperlukan peningkatan kinerja pengawasan oleh regulator penyelenggaraan perkeretaapian khususnya terhadap kondisi kelaikan prasarana dan sarana perkeretaapian. Saat ini data dan pelaporan terkait pengoperasian, pemeriksaan dan perawatan prasarana dan sarana tidak valid dan lengkap tersedia sehingga kondisi kelaikan prasarana dan sarana tidak dapat diketahui setiap saat. Oleh karena itu, dibutuhkan mekanisme pengawasan kereta api yang lebih akurat dan realtime dengan memanfaatkan teknologi informasi terkini. Policy brief ini menggunakan metode analisis mencakup analisis akar masalah untuk memperoleh problem statement, serta descriptive analysis dan content analysis guna memahami dan menafsirkan substansi dalam suatu dokumen/data yang memiliki relevansi dengan kajian. Selain itu, pada policy brief ini juga menggunakan proses benchmarking terhadap implementasi teknologi pengawasan perkeretaapian di beberapa negara guna memberikan gambaran best practice dan rekomendasi. Adapun hasil rekomendasi kebijakan mencakup integrasi data dan pelaporan terkait pengoperasian, pemeriksaan, perawatan dan pengusahaan perkeretaapian antara regulator dan badan usaha/operator, penyiapan perencanaan dan pendampingan terkait pemasangan sensor dan pembangunan command center serta pelaksanaan uji coba pengawasan berbasis teknologi informasi di lokasi pionir Jawa Barat (segmen tertentu) sesuai pertimbangan wilayah dengan tingkat risiko tinggi. Dengan meningkatkan pengawasan terhadap kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian berbasis teknologi informasi, maka dapat mendorong peningkatan keselamatan perjalanan kereta api.

Kata Kunci: Perkeretaapian, Pengawasan, Teknologi Informasi

Abstract

As people's mobility increases, the demand for reliable, safe, and secure railway transportation services is also getting higher. This demand has caught public attention with the rising trend

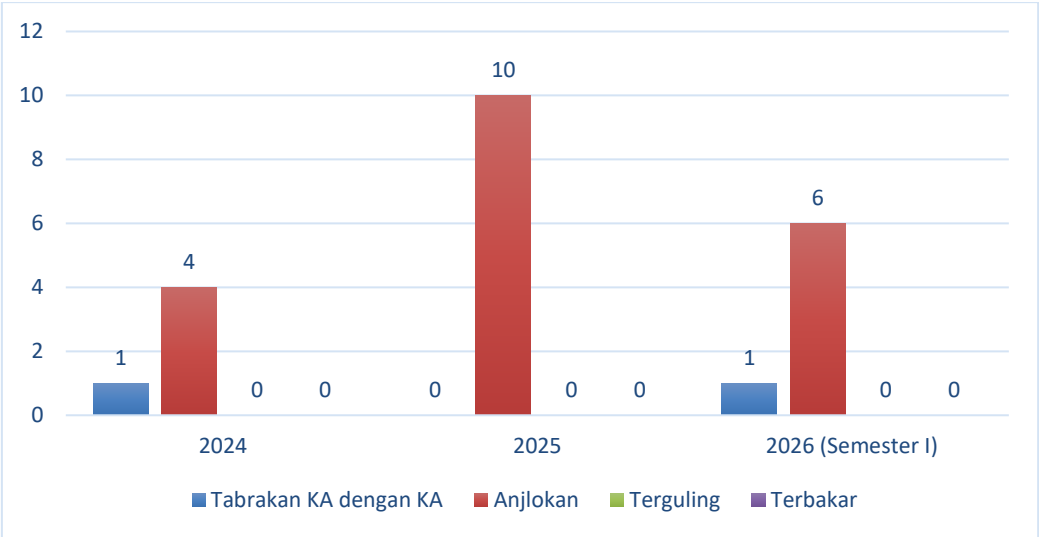
of train accidents from 2024 to 2026. To support railway travel safety, there needs to be an improvement in oversight performance by railway regulators, especially regarding the condition of railway infrastructure and rolling stock. Currently, data and reporting related to the operation, inspection, and maintenance of infrastructure and rolling stock are neither valid nor fully available, so the condition of the infrastructure and facilities cannot be known at all times. Therefore, a more accurate and real-time train monitoring mechanism is needed by utilizing the latest information technology. Policy brief used analysis methods are root cause analysis to get problem statement, as well as descriptive analysis and content analysis to understand and interpret the substance of documents/data relevant to the study. In addition, this policy brief also uses benchmarking processes against railway surveillance technology implementation in several countries to provide an overview of best practices and recommendations. The results of policy recommendations include integrating of data and reports on operations, inspections, maintenance, and railway management between regulators and business operators, preparing of plan and support for installing sensors and building a command center, and also conducting pilot IT-based surveillance trials in pioneer locations in West Java (certain segments) according to areas considered high-risk. By increasing supervision of infrastructure and rolling stock condition based on information technology, that can encourage improvement of railways safety.

Keywords : Railways, Supervision, Information Technology

LATAR BELAKANG

Tuntutan terhadap kebutuhan layanan transportasi perkeretaapian yang andal dan selamat semakin meningkat terutama untuk memenuhi tingginya pergerakan masyarakat di perkotaan serta angkutan logistik antar wilayah di simpul-simpul strategis. Namun pemenuhan layanan tersebut perlu didukung dengan jaminan tingkat keselamatan perjalanan kereta api. Tingkat keselamatan kereta api kembali menjadi sorotan publik pada Tahun 2026 dengan terjadinya kejadian kecelakaan kereta api yang menyebabkan korban jiwa di Bekasi Timur.

Pada periode 3 tahun terakhir yaitu Tahun 2024-2026 (Semester I), terdapat potensi tren kejadian kecelakaan kereta api yang meningkat. Pada Tahun 2025 jumlah kecelakaan kereta api meningkat dua kali lipat dibandingkan Tahun 2024, sedangkan pada Tahun 2026 posisi sampai Juni 2026 sudah terjadi 7 kejadian kecelakaan kereta api termasuk 1 kejadian kecelakaan tabrakan KA dengan KA di Bekasi Timur. Kecelakaan kereta api tersebut menjadi catatan evaluasi yang dikategorikan kritis, dimana dapat mencederai rasa kepercayaan masyarakat terkait keselamatan perjalanan kereta api (Tempo, 2024).



Bagan 1 Jumlah Kejadian Kecelakaan Kereta Api Periode Tahun 2024-2026
(Direktorat Jenderal Perkeretaapian, 2026)

Faktor penyebab kecelakaan kereta api dikategorikan dalam empat pilar ekuivalen (Liu, Saat, & Barkan, 2012) yaitu faktor prasarana/*track*, sarana/*equipment*, kesalahan operasional manusia, dan faktor eksternal/lingkungan. Hal tersebut juga senada dengan uraian penyebab kecelakaan kereta api berdasarkan data statistik bidang perkeretaapian yang menguraikan penyebab kecelakaan mencakup sarana, prasarana, SDM operator, eksternal dan alam. Hal itu menjadi acuan untuk menguraikan daftar masalah pada uraian berikutnya.

Tabel 1 Jumlah Kejadian Kecelakaan Berdasarkan Penyebab

No	Uraian	2024	2025	2026 (Triwulan II)
1	Prasarana dan/atau Sarana	5	7	4
2	SDM Operasi	0	3	1
3	Eksternal dan/atau Alam	0	0	0
Jumlah Kecelakaan		5	10	5*

Keterangan:

*) Terdapat 2 Kejadian kecelakaan masih proses analisis Direktorat Jenderal Perkeretaapian/menunggu hasil temuan Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT)

Sumber: Perkeretaapian Dalam Angka Semester II Tahun 2025 dan Laporan Direktorat Keselamatan Perkeretaapian perihal Penyampaian Data Jumlah Kecelakaan Kereta Api Tahun 2024-2026 (Triwulan II)

PERMASALAHAN

Daftar Masalah

Kejadian kecelakaan kereta api disebabkan oleh beberapa faktor dari beberapa referensi dan disimpulkan menjadi 3 daftar masalah utama sebagai berikut:

1. Kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian yang tidak laik operasi;
2. Terjadinya *human error* dalam pengoperasian prasarana dan sarana perkeretaapian;
3. Adanya faktor eksternal termasuk gangguan alam yang dapat menyebabkan kecelakaan kereta api.

Untuk mengidentifikasi prioritas masalah yang menuntut intervensi kebijakan publik paling mendesak, dilakukan analisis penentuan masalah utama menggunakan kerangka metodologi USG (*Urgency, Seriousness, Growth*). Penentuan skor evaluasi dalam rentang kuantitatif 1 hingga 5 didasarkan pada besaran intensitas dampak dan tren masalah selama 3 tahun terakhir sebagaimana pada Tabel berikut.

Tabel 2 Analisa USG (*Urgency, Seriousness, Growth*)

No.	Daftar Masalah	<i>Urgency</i>	<i>Seriousness</i>	<i>Growth</i>	Total Nilai
1	Kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian yang tidak laik operasi	5	5	5	15
2	Terjadinya <i>human error</i> dalam pengoperasian prasarana dan sarana perkeretaapian	5	5	1	11
3	Adanya faktor eksternal termasuk gangguan alam yang dapat menyebabkan kecelakaan kereta api	4	5	1	10

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan analisa USG di atas, diperoleh masalah utama adalah ***kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian yang tidak laik operasi***. Hal tersebut menjadi faktor paling banyak dan cenderung meningkat sebagai penyebab kecelakaan kereta api, termasuk besaran dampaknya terhadap tingkat keselamatan perjalanan kereta api.

Analisis Akar Masalah

Dengan masalah utama yaitu kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian yang tidak laik operasi, diturunkan untuk mencari akar penyebabnya melalui *level* 1 dan *level* 2 sesuai uraian berikut:

1. Penyebab Masalah Level 1

a. Perawatan sarana dan prasarana tidak optimal dilaksanakan oleh Badan Usaha Penyelenggara Prasarana Perkeretaapian:

Prasarana dan sarana perkeretaapian yang tidak dipelihara akan mengalami penurunan kualitas kinerja yang secara fisik akan terjadinya kerusakan dan tidak

laik operasi. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2009 tentang Penyelenggaraan Perkeretaapian (beserta perubahannya), perawatan prasarana perkeretaapian diatur secara spesifik pada Pasal 72 dan Pasal 73 sebagai kewajiban penyelenggara prasarana perkeretaapian untuk merawat prasarana agar tetap laik operasi. Untuk itu, kondisi tidak laik operasi sangat ditentukan dengan perawatan prasarana dan sarana perkeretaapian yang dilaksanakan badan usaha sesuai prosedur yang telah ditentukan.

b. Pengawasan regulator penyelenggaraan perkeretaapian yang belum optimal:

Pengawasan sarana dan prasarana menjadi penting dalam upaya menjaga keselamatan moda perkeretaapian. Berdasarkan hasil investigasi kecelakaan periode 2007—2023, Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) telah memberi rekomendasi ke berbagai instansi pemerintahan dan badan usaha yang terlibat dalam perkeretaapian nasional. Mayoritas rekomendasinya berupa penguatan pengawasan sebanyak 60,2%, diikuti penguatan prasarana sebanyak 18,3%, aturan sebanyak 15,9%, dan sarana sebanyak 5,7% (Ahdiat, 2024).

2. Penyebab Masalah Level 2 untuk Masalah 1.a : Perawatan sarana dan prasarana tidak optimal dilaksanakan oleh Badan Usaha Penyelenggara Prasarana Perkeretaapian

a. 1.a.1. Pembiayaan perawatan prasarana tidak mencukupi/terbatas (*money*): Pembangunan dan pengoperasian kereta api tidak dapat dipungkiri membutuhkan dana yang masif, sedangkan *return of investment*nya sangat lambat (Agustriana, et al., 2023). Pembiayaan untuk kegiatan perawatan prasarana milik negara umumnya bersumber dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN). Kemampuan APBN untuk membiayai infrastruktur sangat terbatas, oleh karena itu perlu diupayakan untuk digali sumber-sumber pembiayaan yang lain (Direktorat Jenderal Anggaran Kementerian Keuangan, 2015). Proses penganggaran kebutuhan perawatan prasarana perkeretaapian menghadapi sejumlah tantangan kompleks, terutama keterbatasan anggaran yang semakin signifikan pasca-terbitnya Instruksi Presiden Nomor 1 Tahun 2025 tentang Efisiensi Belanja dalam Pelaksanaan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara dan Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah Tahun Anggaran 2025. Inpres ini mengamanatkan pengetatan alokasi APBN/APBD, sehingga berdampak pada kemampuan memenuhi seluruh kebutuhan operasional dan pemeliharaan prasarana (Christian, Anggraeni, & Bayu, 2025).

b. 1.a.2. Perawatan sarana dan prasarana perkeretaapian dilaksanakan tidak sesuai prosedur (*method*): KNKT mencatat beberapa permasalahan yang kerap terjadi pada moda perkeretaapian, salah satunya mengenai perawatan yang tidak sesuai prosedur. Salah satunya dari hasil laporan KNKT yang mencatat bahwa penyebab anjlokkan (KA Layang antara Terminal 3 – Terminal 2 Bandara Soetta pada Desember 2018) disebabkan adanya teknik perawatan yang kurang dalam proses *treatment* (Shadrina, KNKT Sebut Masalah Perawatan Perkeretaapian Masih Jadi Permasalahan, 2022).

- c. **1.a.3. Keterbatasan material/sparepart untuk perbaikan prasarana dan sarana perkeretaapian (*material, machine*):** Perbaikan dilakukan jika usia barang sudah lama dan mencapai umur tertentu karena perbedaan material mengalami proses perusakan yang berbeda-beda. Setiap 4 tahun, uji berkala dilakukan untuk menentukan manakah material yang akan mengalami pembaruan atau tidak, tergantung usia dan fungsi material. Jika usia material habis, maka pembaruan wajib dilakukan agar prasarana bisa berfungsi kembali. (Shadrina, Peran Regulasi Penting Guna Awasi Sarpras Perkeretaapian, 2022).
- 3. **Penyebab Masalah Level 2 untuk Masalah 1.b : Pengawasan regulator penyelenggaraan perkeretaapian yang belum optimal**
 - a. **1.b.1. Ketersediaan data kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian yang valid dan *realtime* masih terbatas (*material, method*):** Proses monitoring jalur kereta api sendiri sangat ini kompleks dan rumit diperlukan waktu yang lama, cara sebelumnya bersifat sederhana dan konvensional dengan menyusuri jalur kereta secara manual atau menggunakan alat pengukur geometri yang dipasang direl (Mardiana, et al., 2020). Pengawasan kelaikan prasarana dan sarana perlu ditingkatkan, mengingat kondisi saat ini laporan penyelenggaraan prasarana dan sarana tidak tersedia lengkap dan tidak secara berkala dilaporkan oleh penyelenggara prasarana dan sarana sehingga kondisi kelaikan prasarana dan sarana tidak dapat diketahui setiap saat. Hal tersebut menyebabkan pada saat terjadinya kecelakaan tidak bisa diketahui secara pasti kontribusi prasarana/sarana/lainnya terhadap kejadian kecelakaan kereta api tersebut.
 - b. **1.b.2. Keterbatasan SDM regulator yang kompeten dalam pelaksanaan pengawasan (*man*):** Peningkatan kinerja operasional perkeretaapian yang selamat, andal, dan berkinerja tinggi merupakan hasil bertahap dari sistem manajemen sumber daya manusia bagi regulator dan operator yang terstruktur, berbasis kompetensi, dan berorientasi pada keselamatan kerja (Jamhari, Prakosa, & Montanasyah, 2026).
 - c. **1.b.3. Rendahnya efektivitas tata cara pengawasan:** Regulasi mengenai tata cara pengawasan dan penerapan sanksi administratif terhadap penyelenggaraan kegiatan perkeretaapian telah ditetapkan. Namun, eksekusi standar prosedur ini terkadang belum sinkron dengan dinamika anomali operasi dari pihak operator.

Berdasarkan uraian akar permasalahan di atas, dilaksanakan perhitungan prioritas dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). FMEA mengukur prioritas menggunakan nilai Risk Priority Number (RPN), yang merupakan hasil kali dari tiga faktor (skala 1-10). Akar masalah dengan nilai RPN tertinggi adalah area yang membutuhkan perbaikan kebijakan atau evaluasi kontrol *intern* paling mendesak sebagaimana pada Tabel berikut.

Tabel 3 Perhitungan Prioritas Akar Permasalahan terkait Kondisi Prasarana dan Sarana Perkeretaapian yang Tidak Laik Operasi

No	Akar Masalah	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	Total Nilai (S x O x D)
1	Perawatan sarana dan prasarana tidak optimal dilaksanakan oleh Badan Usaha Penyelenggara Prasarana Perkeretaapian				
	a. Pembiayaan perawatan prasarana tidak mencukupi/terbatas	9	8	8	576
	b. Perawatan sarana dan prasarana perkeretaapian dilaksanakan tidak sesuai prosedur	9	7	7	441
	c. Keterbatasan material/ <i>sparepart</i> untuk perbaikan prasarana dan sarana perkeretaapian	7	7	7	343
2	Pengawasan regulator penyelenggaraan perkeretaapian yang belum optimal				
	a. Ketersediaan data kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian yang valid dan <i>realtime</i> masih terbatas	8	9	9	648
	b. Keterbatasan SDM regulator yang kompeten dalam pelaksanaan pengawasan	8	7	9	504
	c. Rendahnya efektivitas tata cara pengawasan	7	7	8	392

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Problem Statement

Berdasarkan analisis akar permasalahan dan perhitungan prioritas di atas termasuk pertimbangan dengan dominannya faktor penyebab “Prasarana dan Sarana” yang membutuhkan peningkatan pengawasan prasarana dan sarana untuk mendukung peningkatan keselamatan perkeretaapian, maka diperoleh fokus akar masalah sebagai berikut:

- 1. **Masalah utama:** Kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian yang tidak laik operasi;
- 2. **Akar masalah level 1:** Pengawasan regulator penyelenggaraan perkeretaapian yang belum optimal;
- 3. **Akar masalah level 2:** Ketersediaan data kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian yang valid dan *realtime* masih terbatas.

Dengan fokus akar masalah tersebut, maka diperoleh *problem statement* pada makalah kebijakan ini adalah **“Kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian yang tidak laik operasi terjadi karena pengawasan oleh regulator penyelenggaraan perkeretaapian yang belum optimal akibat tidak didukung dengan ketersediaan data kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian yang memadai/valid dan *realtime*, sehingga menyebabkan terjadinya kecelakaan kereta api serta mendorong rendahnya tingkat keselamatan perjalanan kereta api”**.

Tinjauan Penelitian Sebelumnya

Tinjauan terhadap penelitian terdahulu menunjukkan bahwa *policy brief* “Strategi Peningkatan Pengawasan Kelaikan Prasarana dan Sarana untuk mendukung Keselamatan Perjalanan Kereta Api” masih terfragmentasi. Penelitian oleh Dahlan, Wibowo, Arsyad, Abdurachman dan Puspita (2021) dominan fokus pada transformasi digital terkait peningkatan layanan penumpang kereta api diantaranya sistem manajemen lalu lintas, *e-ticketing*, *signalling systems*, *e-Office*, *e-boarding pass*, dan fasilitas penumpang lainnya (situs web, layanan *infotainment on-board*, dan lainnya). Sedangkan penelitian Kinantya D. (2025) menitikberatkan pada aspek teknis pengawasan sarana secara parsial dengan pendekatan evaluasi kebijakan.

Adapun *policy brief* ini mengintegrasikan pembahasan terkait pengawasan kelaikan prasarana dan sarana secara komprehensif sebagai satu pelaksanaan tugas oleh regulator dengan dukungan teknologi informasi melalui integrasi data dan pelaporan dari badan usaha serta pemanfaatan sensor yang dipasang di prasarana/sarana. Selain itu, juga terdapat gap penelitian dimana kajian bersumber dari analisis akar masalah sebagai instrumen prioritas terkait isu keselamatan perjalanan kereta api, termasuk pendekatan analisis multi kriteria untuk menentukan lokasi prioritas dengan pertimbangan wilayah tingkat risiko tinggi untuk pengawasan berbasis teknologi informasi. Secara lengkap *novelty* pada *policy brief* ini diuraikan pada Tabel berikut.

Tabel 4 Tinjauan Penelitian Sebelumnya dan Novelthy			
Aspek	Penelitian Terdahulu 1: Transformasi Digital Perkeretaapian di Eropa dan Indonesia (Dahlan, Wibowo, Arsyad, Abdurachman, & Puspita, 2021)	Penelitian Terdahulu 2: Pengawasan Sarana Perkeretaapian: Menuju Transportasi Rel yang Modern dan Aman (Kinantya D., 2025)	Penelitian Ini (Novelthy)
Fokus / Objek	• Penggunaan teknologi informasi fokus untuk	• Penggunaan teknologi informasi fokus untuk	• Penggunaan teknologi informasi

	peningkatan layanan kepada penumpang kereta api	pengawasan sarana perkeretaapian	untuk pengawasan kelaikan prasarana dan sarana mendukung peningkatan keselamatan perjalanan kereta api
Pendekatan / Metodologi	• Pendekatan metode kualitatif dan deskriptif termasuk wawancara mendalam kepada beberapa narasumber • Pendekatan studi literatur/<i>benchmarking</i>	• Pendekatan evaluasi kebijakan terkait pengawasan sarana perkeretaapian	• Bersumber dari analisis akar masalah • Pendekatan metode <i>content analysis</i> dan <i>descriptive analysis</i> • Pendekatan analisis <i>benchmarking</i> dilengkapi analisis multi kriteria
Output	• Implementasi teknologi IoT merupakan perwujudan komitmen penyedia jasa layanan khususnya transportasi kereta api dalam mendukung terwujudnya visi <i>Making Indonesia 4.0</i> dari Pemerintah yang mampu mendorong realisasi Revolusi Industri 4.0 di Indonesia	• Strategi kebijakan transformasi sistem pengawasan sarana perkeretaapian mencakup (1) penguatan regulasi dan audit keselamatan, (2) digitalisasi dan integrasi teknologi, (3) pengembangan kapasitas SDM, (4) strategi operasional berbasis data/analitik prediktif	• Rekomendasi kebijakan mencakup integrasi data dan pelaporan terkait pengoperasian, pemeriksaan, perawatan dan perusahaan perkeretaapian antara regulator dan badan usaha, penyiapan perencanaan dan pendampingan terkait pembangunan <i>command center</i> serta pelaksanaan uji coba pengawasan berbasis teknologi informasi dengan

pemasangan
sensor di lokasi
pionir Jawa Barat
sesuai
pertimbangan
wilayah dengan
tingkat risiko tinggi.

Sumber: Hasil Analisis, 2026

TUJUAN

Tujuan penyusunan *policy brief* “Strategi Peningkatan Pengawasan Kelaikan Prasarana dan Sarana untuk mendukung Keselamatan Perjalanan Kereta Api” adalah merumuskan rekomendasi kebijakan terkait pelaksanaan tugas regulator melalui pengawasan kelaikan prasarana dan sarana perkeretaapian yang efektif, efisien serta *realtime* guna mendukung kinerja keselamatan perkeretaapian.

METODOLOGI

Pendekatan umum dalam penyusunan *policy brief* dirancang sebagai suatu pendekatan terpadu (*integrated approach*) yang mengkombinasikan beberapa dimensi utama, yaitu dimensi kebijakan dan regulasi, dimensi teknis dan operasional perkeretaapian, dimensi spasial/kewilayahan, serta dimensi kelembagaan/regulator perkeretaapian. Secara metodologis, pendekatan umum juga menekankan prinsip *evidence-based decision making*. Seluruh rekomendasi didasarkan pada data empiris, regulasi dan literatur, analisis kuantitatif dan kualitatif, serta pembelajaran teknologi informasi perkeretaapian yang telah dan sedang berjalan di beberapa negara (*benchmarking*). Secara rinci uraian metodologi yang digunakan sebagai berikut:

1. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilaksanakan dengan pengumpulan data sekunder yang bersumber dari beberapa referensi meliputi:

- Data regulasi terkait penyelenggaraan perkeretaapian;
- Data statistik terkait lalu lintas dan angkutan kereta api, prasarana dan sarana perkeretaapian serta keselamatan perkeretaapian;
- Data evaluasi kebijakan serta kajian/literatur terkait pengawasan perkeretaapian dan teknologi informasi;
- Referensi terkait lainnya yang diperoleh dari berbagai sumber termasuk media elektronik.

2. Metode Analisis

Analisis dan pembahasan dilaksanakan mulai dari identifikasi dan penentuan problem statement serta menjawab *problem statement* guna menemukan pilihan dan rekomendasi kebijakan. Berikut uraian beberapa metode analisis yang digunakan:

- Analisis akar masalah**, diantaranya dengan menggunakan metodologi USG (*Urgency, Seriousness, Growth*) berupa penentuan skor evaluasi dalam rentang kuantitatif 1 hingga 5 didasarkan pada besaran intensitas dampak dan tren

masalah selama 3 tahun terakhir. Selain itu juga digunakan metodologi perhitungan prioritas dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) guna mengukur prioritas menggunakan nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang merupakan hasil kali dari tiga faktor (skala 1-10) yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), *Detection* (D).

- b. **Analisis deskriptif (*descriptive analysis*)**, antara lain digunakan untuk intepretasi data statistik terkait kondisi prasarana dan sarana, kondisi keselamatan dan lainnya. Metoda *descriptive analysis* adalah metoda analisis data yang bertujuan untuk menggambarkan, meringkas, dan menjelaskan data secara sistematis tanpa membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi. Analisis dilakukan untuk mempermudah pemahaman pola, tren, dan karakteristik utama dalam data mentah yang telah dikumpulkan, dan seringkali ditampilkan dalam bentuk tabel atau grafik.
- c. **Analisis dokumen/data sekunder terkait (*content analysis*)**, antara lain diterapkan untuk mengidentifikasi daftar masalah, melakukan inventarisasi regulasi/peraturan perundang-undangan, memberikan gambaran terkait pengawasan perkeretaapian, serta isu dan perkembangan teknologi informasi. *Content analysis* dilaksanakan dengan metoda *analytical reading* untuk memahami atau menafsirkan teks/substansi yang dimuat dalam suatu dokumen untuk diketahui relevansinya dengan kajian yang sedang dilakukan. Analisis dilakukan dengan *Skimming* dan *Scanning* terhadap dokumen, selanjutnya menganalisis struktur dokumen (*deconstruction*) untuk memahami konteks (*context*) muatan dokumen dan korelasinya (*interrelation*) dengan dokumen terkait lainnya.
- d. **Analisis *Benchmarking***, antara lain digunakan untuk mengetahui *best practice* dalam penerapan teknologi informasi untuk pengawasan penyelenggaraan perkeretaapian di beberapa negara. *Benchmarking* merupakan suatu proses sistematis untuk membandingkan suatu sistem dalam proses bisnis suatu organisasi dengan standar terbaik (*best practices*). Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi kesenjangan, memahami kelebihan/kekurangan, dan mengadopsi praktik terbaik guna meningkatkan efisiensi dan keunggulan kompetitif serta identifikasi langkah strategis yang diperlukan.
- e. **Analisis Multi Kriteria (AMK)**, antara lain digunakan untuk menentukan lokasi prioritas dalam penerapan kebijakan/strategi. Untuk mengatasi masalah pengambilan keputusan dengan pertimbangan yang kompleks pendekatan AMK akan menyederhanakannya dengan sistem skor (*scoring*) terhadap setiap Lokasi rencana dalam memenuhi kriteria dan dapat ditetapkan alternatif yang lebih baik (diprioritaskan).

HASIL DAN PEMBAHASAN

KONDISI PRASARANA DAN SARANA PERKERETAAPIAN

Kondisi prasarana perkeretaapian di Indonesia saat ini terdiri dari kondisi rel yang berusia di atas 30 tahun sebesar 42%, jembatan yang berusia di atas 75 tahun sebesar 17%,

terowongan yang berusia di atas 100 tahun sebesar 83% serta fasilitas operasi yang berusia lebih dari 25 tahun sebesar 30% (PT KAI, 2023). Selain itu, terdapat salah satu tolak ukur kondisi prasarana perkeretaapian khususnya jalur kereta api yaitu dengan parameter *Track Quality Index* (TQI). TQI diperoleh dengan pengukuran menggunakan kereta ukur yang menunjukkan kondisi laik operasi jalur kereta api termasuk tingkat kenyamanan dan kecepatan operasi. Realisasi hasil TQI Tahun 2025 Kategori I dan II (kondisi nyaman dan aman, kecepatan lebih dari 80 km/jam) sebesar 94,64% dan jalur kategori III dan IV (kondisi waspada dan bahaya, kecepatan dibawah 80 km/jam) sebesar 5,36% (Direktorat Jenderal Perkeretaapian, 2026).

Tabel 5 Panjang Jalur Kereta Api Berdasarkan Kategori TQI Tahun 2020-2025

Klasifikasi TQI		Kualifikasi		Panjang Jalur Terukur (km'sp)					
				2020	2021	2022	2023	2024	2025
TQI A	Kategori 1	Kecepatan	: 100 s.d 120 km/jam	4.668,87 (89,65%)	5.239,51 (90,34%)	5.351,92 (91,37%)	5.538,96 (93,85%)	5.639,95 (95,02%)	5.686,18 (94,64%)
		Kondisi	: Nyaman						
	Kategori 2	Kecepatan	: 80 s.d 100 km/jam						
		Kondisi	: Aman						
TQI B	Kategori 3	Kecepatan	: 60 s.d 80 km/jam	539,27 (10,35%)	560,03 (9,66%)	505,48 (8,36%)	385,55 (6,13%)	295,26 (4,97%)	321,83 (5,36%)
		Kondisi	: Waspada						
	Kategori 4	Kecepatan	: 40 s.d 60 km/jam						
		Kondisi	: Bahaya						
		Total		5.208,15	5.799,54	5.855,06	5.902,03	5.935,24	6.008,01

Sumber : Direktorat Jenderal Perkeretaapian, 2026

Kehandalan perjalanan kereta api juga dipengaruhi dengan kondisi fasilitas operasi/sistem persinyalan dengan upaya peningkatan sistem persinyalan mekanik ke elektrik dengan tujuan untuk dapat meningkatkan kehandalan dan keselamatan perjalanan kereta api serta mendukung peningkatan waktu tempuh. Jumlah sinyal elektrik sampai dengan akhir Tahun 2025 sebanyak 403 sinyal elektrik dan 206 persinyalan mekanik.

Di sisi sarana perkeretaapian, berdasarkan data statistik Tahun 2025 diperoleh bahwa jumlah sarana perkeretaapian (lokomotif, kereta, KRD, KRL, gerbong, peralatan khusus) sebanyak 13.613 unit dimana 30,70% diantaranya berusia 21 tahun ke atas terdiri dari 2.247 unit atau 16,51% berusia lebih dari 40 tahun, 1.260 unit atau 9,26% berusia 31-40 tahun, dan 672 unit atau 4,94% berusia 21-30 tahun (Direktorat Jenderal Perkeretaapian, 2026). Untuk itu, guna mencegah kejadian kecelakaan kereta api dengan kondisi usia prasarana dan sarana yang cukup tua, maka diperlukan perawatan dan pengawasan ekstra guna meminimalkan risiko kerusakan dan terjadinya kecelakaan kereta api.

Tabel 6 Jumlah Sarana Kereta Api Berdasarkan Umur Tahun 2025

No.	Uraian Descriptions	Satuan Unit	Dibawah 10 Tahun	11-20 Tahun	21-30 Tahun	30-40 Tahun	Diatas 40 Tahun	Total
A	Kereta Api Kecepatan Normal	Unit / Units	3.504	6.364	672	1.260	2.247	13.517
1.	Lokomotif/ <i>Locomotive</i>	Unit / Units	76	242	48	65	99	527
2.	Kereta/ <i>Coach</i>	Unit / Units	942	554	173	160	427	2.202
3.	KRD/ <i>Diesel Locomotive</i>	Unit / Units	34	81	0	2	5	121
4.	KRL/ <i>Electric Locomotive</i>	Unit / Units	674	81	19	605	303	1.676
5.	Gerbong/ <i>Wagon</i>	Unit / Units	1.682	5.352	429	392	1.345	8.738
6.	Peralatan Khusus/ <i>Special Purposed Cars</i>	Unit / Units	96	54	3	36	68	253
B.	Kereta Cepat/ <i>High Speed Train</i>	Unit / Units	96	0	0	0	0	96
1	Kereta Cepat/ <i>High Speed Train</i>	Unit / Units	88	0	0	0	0	88
2	Peralatan Khusus/ <i>Special Purposed Cars</i>	Unit / Units	8	0	0	0	0	8
Total		Unit / Units	3.600	6.364	672	1.260	2.247	13.613

Sumber: Direktorat Jenderal Perkeretaapian, 2026

PENGELOLAAN PRASARANA DAN SARANA PERKERETAAPIAN

Pengelolaan sarana dan prasarana perkeretaapian dilaksanakan oleh Badan Usaha Penyelenggaraan Sarana/Prasarana (BUPS/BUPP) yang meliputi pengoperasian, pemeriksaan dan perawatan. Untuk pengoperasian, pengaturan sebagian telah terpusat pada *Operation Control Center* (OCC) maupun *Centralized Traffic Supervised* (CTS) kereta api antar kota maupun perkotaan di Indonesia. Secara umum, OCC/CTS berfungsi sebagai pusat kendali pengaturan dan pengendalian operasional serta pengawasan seluruh sistem dan operasi guna memastikan aspek keselamatan dan layanan berjalan optimal. Beberapa layanan yang telah menggunakan OCC/CTS untuk pengaturan pengoperasian antara lain untuk pengoperasian LRT Sumatera Selatan, LRT Jakarta, MRT Jakarta, APMS Bandara Soekarno Hatta, LRT Jabodebek, serta di beberapa segmen operasional kereta api antar kota yang dikelola PT. KAI.

Untuk pelaksanaan pemeriksaan dan perawatan sarana dan prasarana perkeretaapian, saat ini mayoritas masih dilakukan secara manual, termasuk masih minim mengimplementasikan *predictive maintenance* atau *smart maintenance* dengan menggunakan sensor untuk memperoleh data kondisi sarana dan prasarana secara *realtime*. BUPS/BUPP juga memiliki kewajiban untuk menyampaikan laporan kegiatan pengoperasian, pemeriksaan, perawatan dan perusahaan perkeretaapian umum secara berkala kepada Direktorat Jenderal Perkeretaapian sebagaimana izin usaha dan izin operasi yang telah diberikan. Namun pelaporan tersebut masih dilaksanakan secara *manual* dan belum terintegrasi guna memudahkan regulator melakukan evaluasi dan pengawasan.

Direktorat Jenderal Perkeretaapian sebagai regulator perkeretaapian juga bertanggung jawab untuk melaksanakan tugas pengawasan/inspeksi/audit penyelenggaraan sarana dan prasarana perkeretaapian yang dilakukan secara berkala atau terjadwal.

Pelaksanaan fungsi pengawasan tersebut masih dilaksanakan secara *manual* dan belum menggunakan teknologi informasi. Sedangkan fungsi regulator lainnya yaitu pengujian dan sertifikasi prasarana dan sarana (pertama dan berkala) sebagian telah berbasis teknologi informasi.

Kondisi-kondisi tersebut sangat berkorelasi terhadap penyediaan data dan informasi yang diperlukan oleh regulator penyelenggaraan perkeretaapian dalam pelaksanaan pengawasan sarana dan prasarana berbasis teknologi informasi. Untuk itu ditemukan kondisi saat ini dalam rangka pengawasan terhadap kelaikan prasarana dan sarana perkeretaapian antara lain:

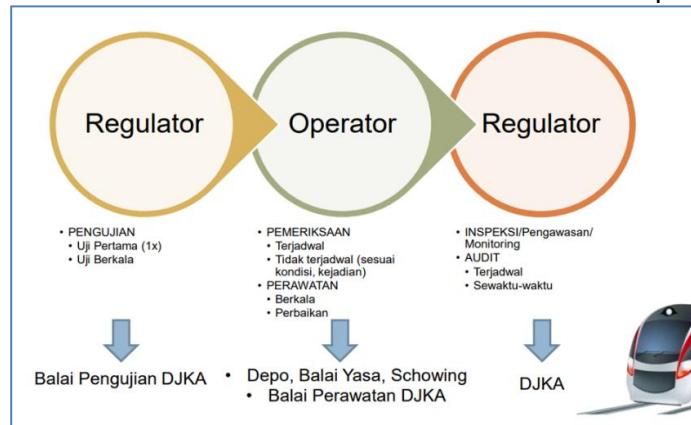
1. Pelaksanaan pemeriksaan dan perawatan sarana dan prasarana perkeretaapian saat ini mayoritas masih dilakukan secara manual, termasuk minim mengimplementasikan *predictive maintenance* atau *smart maintenance* untuk memperoleh data kondisi sarana dan prasarana secara *realtime*.
2. Laporan perawatan prasarana dan sarana perkeretaapian tidak akuntabel (hanya diketahui oleh penyelenggara prasarana dan sarana);
3. Pelaporan dari badan usaha masih dilaksanakan secara manual, tidak terintegrasi, serta tidak lengkap dilaporkan kepada regulator guna memudahkan regulator melakukan pengawasan
4. Kondisi kelaikan prasarana dan sarana tidak dapat diketahui setiap saat;
5. Pada saat terjadinya kecelakaan, tidak dapat diketahui dengan pasti kontribusi prasarana dan sarana perkeretaapian terhadap kecelakaan tersebut.
6. Pelaksanaan fungsi pengawasan/inspeksi/audit penyelenggaraan sarana dan prasarana perkeretaapian masih belum terdokumentasi dengan baik.

PENGAWASAN REGULATOR PERKERETAAPIAN

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian, Pemerintah telah memisahkan dengan jelas fungsi regulator yang fokus dengan fungsi kebijakan/pengaturan, pengendalian dan pengawasan yang ada di Direktorat Jenderal Perkeretaapian di bawah Kementerian Perhubungan. Menurut Undang-Undang jelas bahwa pemerintah bertindak selaku regulator kebijakan dan pengaturan kebijakan perkeretaapian saja. Fungsi umum dari regulator adalah pengatur dan pembuat kebijakan dalam sebuah permainan, layaknya wasit dan pengatur pertandingan, agar semua pemain operator bermain dengan *fair* dan *clear - clean* yang selama ini sudah dijalankan dengan baik (Suryanto, 2024). Direktorat Jenderal Perkeretaapian sebagai regulator penyelenggaraan perkeretaapian secara spesifik pada Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 Pasal 13 dan 14, ditegaskan bahwa perkeretaapian dikuasai oleh negara dan pembinaannya dilakukan oleh Pemerintah. Pembinaan ini mencakup tiga pilar operasional yaitu pengaturan, pengendalian, dan pengawasan.

Khusus terkait pengawasan, regulator penyelenggaraan perkeretaapian melaksanakan beberapa kegiatan pokok untuk mendukung keselamatan perjalanan kereta api diantaranya:

1. Pengawasan kelaikan operasional: Melaksanakan inspeksi keselamatan (*ramp check*) secara rutin dan insidentil terhadap kondisi keandalan prasarana dan sarana perkeretaapian;
2. Pengawasan kompetensi SDM: Memantau validitas sertifikasi dan uji kompetensi SDM operator dan regulator perkeretaapian;
3. Audit Sistem Manajemen Keselamatan (SMK): Melakukan penilaian dan audit berkala terhadap penerapan sistem manajemen keselamatan perkeretaapian oleh badan usaha penyelenggara perkeretaapian;
4. Pengawasan *Infrastructure Maintenance and Operation* (IMO): Mengevaluasi efektivitas pelaksanaan perawatan prasarana yang dikerjakan oleh badan usaha penyelenggara guna memastikan jalur rel tetap dalam toleransi keamanan (*Track Quality Index*);
5. Pelaksanaan pengujian kelaikan teknis secara langsung untuk menghasilkan data kuantitatif kelaikan infrastruktur sebelum disahkan oleh Direktorat pusat.



Bagan 2 Peran Regulator Penyelenggaraan Perkeretaapian

Kelaikan prasarana dan sarana merupakan salah satu elemen penting sehingga perlu selalu dimonitor, diperiksa agar terjamin keselamatan perjalanan kereta api. Kelaikan dalam Bahasa Inggris adalah “*Worthiness*”, yang didefinisikan sebagai *The quality of being good enough; suitability*, dalam Bahasa Indonesia pengertiannya adalah Kualitas cukup baik dan kesesuaian. Dengan demikian pengertian laik operasi adalah dapat dioperasikan dengan baik sesuai dengan aturan yang berlaku. Dikatakan laik operasi apabila memenuhi hal-hal berikut:

1. Sesuai dengan spesifikasi teknis;
2. Telah lulus uji pertama dan uji berkala;
3. Telah dilakukan perawatan sesuai dengan prosedur;
4. Telah dilakukan pemeriksaan sesuai dengan prosedur;
5. Dioperasikan sesuai prosedur yang berlaku;
6. Dioperasikan, diuji, dirawat, diperiksa dan diaudit oleh SDM yang berkompeten.

Setiap sarana dan prasarana perkeretaapian wajib memenuhi persyaratan teknis dan kelaikan operasi. Untuk memenuhi persyaratan teknis dan menjamin kelaikan operasi sarana

dan prasarana perkeretaapian, wajib dilakukan pengujian dan pemeriksaan. Penyelenggara wajib merawat sarana dan prasarana perkeretaapian agar tetap laik operasi. Setiap prasarana dan sarana perkeretaapian yang dioperasikan wajib memenuhi kelaikan operasi yang dibuktikan melalui pengujian. Pengujian prasarana dan sarana perkeretaapian dilakukan untuk mengetahui kesesuaian desain, persyaratan teknis, kondisi, dan fungsi prasarana dan sarana perkeretaapian.

Berdasarkan evaluasi kebijakan yang dilakukan oleh Badan Kebijakan Transportasi Kementerian Perhubungan, terdapat empat tantangan utama dalam sistem pengawasan regulator saat ini (Kinantya D., 2025) meliputi:

Kapasitas SDM yang Terbatas

Kekurangan teknisi bersertifikat dan belum meratanya pelatihan teknologi modern menghambat respons cepat terhadap masalah teknis.

1. **Ketergantungan pada Pengadaan Terpusat**
Banyaknya suku cadang yang masih harus diimpor menyebabkan keterlambatan dalam penggantian komponen penting dan memperpanjang waktu perbaikan.
2. **Kurangnya Teknologi Pemantauan *Real-Time***
Meskipun sudah ada regulasi terkait pengawasan berbasis teknologi informasi, seperti PM 60/2020, implementasinya belum optimal, termasuk pemanfaatan Internet of Things (IoT) untuk mendeteksi gangguan teknis lebih awal.
3. **Standar Keselamatan yang Belum Terintegrasi Secara Global**
Masih terdapat celah antara regulasi nasional dan standar internasional seperti ISO 45001, yang berakibat pada kurangnya konsistensi penerapan sistem manajemen keselamatan di lapangan.

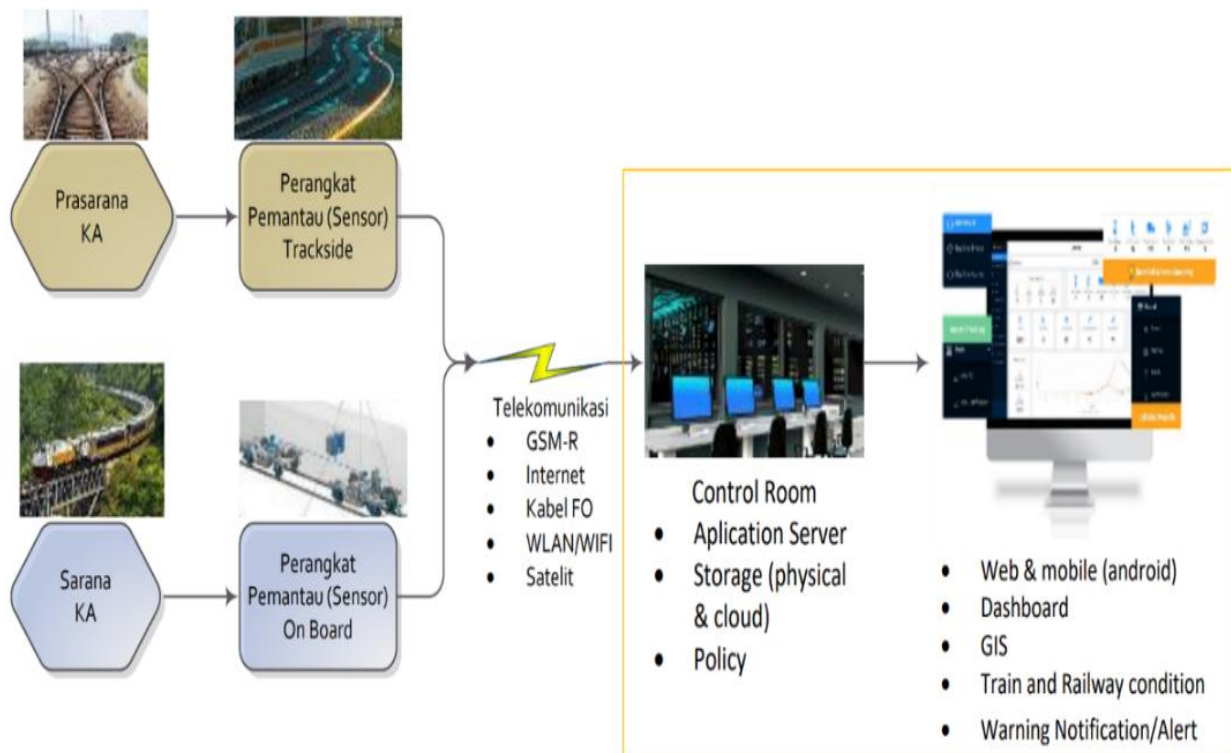
Untuk mengatasi tantangan tersebut, pemerintah merancang pendekatan transformasional melalui empat strategi kebijakan utama (Kinantya D., 2025) yaitu:

1. **Penguatan Regulasi dan Audit Keselamatan**
Regulasi diantaranya PM 24 Tahun 2015 dan PM 69 Tahun 2017 perlu diperkuat, dengan pendekatan audit keselamatan berbasis risiko serta pelibatan lembaga independen dalam evaluasi keselamatan.
2. **Digitalisasi dan Integrasi Teknologi**
Penerapan teknologi IoT, *platform* digital berbasis *cloud*, dan analitik data akan memungkinkan pemantauan kondisi sarana secara real-time, meningkatkan efisiensi pemeliharaan, dan mempercepat respons terhadap gangguan teknis.
3. **Pengembangan Kapasitas SDM**
Kemitraan antara pemerintah, lembaga pendidikan teknik, dan industri untuk memperluas pelatihan vokasional akan mempercepat ketersediaan teknisi terampil di seluruh wilayah.
4. **Strategi Operasional Berbasis Data**
Analitik prediktif akan digunakan untuk menyusun jadwal perawatan preventif, sementara pengembangan sistem *buffer stock* berbasis data akan mengurangi ketergantungan pada pengadaan suku cadang darurat.

DUKUNGAN REGULASI PENGAWASAN PERKERETAAPIAN BERBASIS TEKNOLOGI INFORMASI

Terdapat beberapa regulasi yang mendukung strategi peningkatan pengawasan prasarana dan sarana perkeretaapian berbasis teknologi informasi namun sampai saat ini belum optimal diterapkan yaitu:

1. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor **PM 60 Tahun 2020** tentang Pengawasan Prasarana dan Sarana Perkeretaapian Berbasis Teknologi Informasi:
 - a. Pasal 2 (1): Pengawasan Prasarana Perkeretaapian dan Sarana Perkeretaapian dilakukan untuk meningkatkan pelayanan dan keselamatan di bidang Prasarana Perkeretaapian dan Sarana Perkeretaapian.
 - b. Pasal 3 (4): Sistem Pengawasan Prasarana dan Sarana harus mampu memonitor kondisi kelaikan Prasarana Perkeretaapian dan Sarana Perkeretaapian **secara waktu nyata (real time)** serta bersifat daring.
 - c. Pasal 5: Pembangunan Sistem Pengawasan Prasarana dan Sarana dilaksanakan oleh: a. Direktorat Jenderal Perkeretaapian; b. Penyelenggara Prasarana Perkeretaapian; atau c. Penyelenggara Sarana Perkeretaapian.



Bagan 3 Pendekatan Pengawasan Prasarana dan Sarana Perkeretaapian Berbasis Teknologi Informasi sesuai PM 60 Tahun 2020
(Direktorat Sarana Perkeretaapian, 2022)

2. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor **PM 59 Tahun 2023** tentang Pedoman Perhitungan Biaya Perawatan dan Pengoperasian Prasarana Perkeretaapian Milik Negara:
- a. Pasal 25: Direktur Jenderal melakukan pengawasan terhadap penyelenggaraan Perawatan dan Pengoperasian Prasarana Perkeretaapian.

b. Pasal 26 (1): Pengawasan terhadap penyelenggaraan Perawatan dan Pengoperasian dilakukan: a. secara berkala; atau b. sewaktu-waktu.

c. Dalam melakukan pengawasan, **tim monitoring dan evaluasi dapat menggunakan sistem pengawasan berbasis teknologi informasi.**

BENCHMARKING PENERAPAN TEKNOLOGI INFORMASI UNTUK PENGAWASAN KELAIKAN PRASARANA DAN SARANA PERKERETAAPIAN

Menurut Pieriegud (2018), teknologi dan solusi utama yang diperlukan guna mempercepat transformasi digital di sektor perkeretaapian dalam beberapa tahun terakhir mencakup *Internet of Things (IoT)*, *Komputasi Awan (Cloud Computing)*, *Big Data Analysis*, Otomatisasi dan Robotika. Berdasarkan kajian literatur, diperoleh perbandingan penerapan teknologi pengawasan kelaikan prasarana dan sarana perkeretaapian pada beberapa negara, diantaranya pada tabel berikut.

Tabel 7 Benchmarking Pemanfaatan Teknologi Informasi untuk Pengawasan Perkeretaapian

	Teknologi pendukung dalam proses pemeriksaan	Teknologi pendukung dalam proses perawatan	Sistem dan teknologi analitik yang terlibat dalam keseluruhan proses
 Amerika Serikat	Bantuan alat ukur <i>ultrasonic inspection technology</i> dan <i>global positioning system (GPS)</i>	Setelah sistem mendeteksi kelainan, tim wajib untuk menindaklanjuti kelainan pada rel dalam waktu 36-48 jam	Akses data <i>real-time</i>
 Jepang	Pemeriksaan dilakukan tiap hari dengan bantuan alat ukur yang ada pada kereta komersil, yang menghasilkan data untuk peringatan <i>real-time</i> dan prediksi untuk rencana perbaikan (<i>smart repair</i>)	Berbasis daftar <i>knowhow</i> yang telah disusun oleh teknisi senior dengan didukung teknologi AI	Teknologi <i>AI image recognition</i> Dukungan big data dan sistem terintegrasi Dashboard monitoring untuk executive
 Malaysia	Bantuan alat ukur yang ada pada kereta, yaitu <i>overhead catenary system</i> yang terhubung dengan komputer	Perawatan dilakukan sebelum terjadinya kerusakan dengan menggunakan data yang ada dari sistem	Data yang didapat dari <i>overhead catenary system</i> dapat digunakan untuk dugaan awal kerusakan rel
 Dubai	Bantuan kereta ukur untuk melakukan pemeriksaan rel Penggunaan drone untuk prasarana kereta api seperti terowongan dengan beberapa kamera <i>high definition</i> dan teknologi sinar <i>infrared</i>	Perawatan diserahkan kepada pihak ketiga yaitu Keolis MHI Pemeriksaan menggunakan drone akan dilaporkan secara digital (<i>paperless</i>) untuk menghindari kesalahan manusia	Inspeksi sistematis GIS fault location logging Asset and fault image upload Digital data logging dan unggah langsung ke system, integrasi data terotomatisasi
 Inggris	Implementasi <i>Internet of Things (IoT)</i> untuk memungkinkan remote monitoring RILA system (<i>Railway Infrastructure Alignment Acquisition System</i>) menggunakan laser, GNSS, video camera, yang ditempelkan pada badan kereta yang beroperasi untuk mensurvei kondisi aset, posisi dan geometri rel	Pemasangan <i>local control panel</i> untuk mematikan aliran listrik (sebelumnya dilakukan manual stopping) Penghentian kereta diesel	Big data mendukung analisis dari data yang sudah dikumpulkan melalui IoT dan RILA RILA system juga menggunakan imaging system, triangulasi GNSS, data LIDAR, dan komputasi untuk mengukur posisi dan geometri rel
 Italia	Komunikasi pekerja sebelumnya menggunakan kertas - saat ini menggunakan tablet sehingga dapat dilakukan secara <i>real time</i> Penggunaan 40 kereta ukur dengan kecepatan 140 km/jam, ditambah dengan kereta komersil layanan yang memiliki mesin ukur dan sensor Penggunaan mesin stamper (<i>tamping machines</i>) yang juga dapat melakukan pengukuran Penempatan sensor pada sistem sintelis, wesel, dan stasiun untuk mengumpulkan data <i>real-time</i>	Penggunaan mesin stamper (<i>tamping machines</i>)	Pembuatan model 3D digital prasarana perkeretaapian (<i>digital twin</i>), dengan dukungan <i>machine learning</i> dan IoT (kamera, GPS), untuk mengetahui kondisi prasarana secara <i>real-time</i> dan mengoptimasi perencanaan pekerjaan perawatan Analisis data satelit untuk mendeteksi pergerakan tanah, kelembaban, drainase di sekitar rel, untuk menghindari potensi banjir, juga mendeteksi tanaman liar yang berbahaya di sekitar rel

Sumber: PT Deloitte Consulting, 2022

Penjelasan lebih detail untuk beberapa negara diuraikan sebagai berikut:

1. **Jepang** (Shimizu, 2022) (JR East, 2017)

Di Jepang, pemeriksaan kondisi prasarana dilakukan setiap hari dengan bantuan alat ukur pada operasional kereta komersial yang menghasilkan data untuk peringatan *real-*

time dan prediksi untuk rencana perbaikan (*smart repair*). Perawatan pun dilaksanakan dengan didukung teknologi AI, *big data*, sistem yang terintegrasi serta *dashboard* monitoring untuk *executive*. Sebagai contoh, di JR East telah mengembangkan alat pemantauan jalur rel dengan metode *offset mid-chord inersia* (IMOM) yang dapat dipasang pada operasional kereta api pada jalur konvensional. Teknologi ini bertujuan untuk inspeksi dengan mengidentifikasi status kerusakan rel dan selanjutnya melakukan perbaikan pada waktu yang tepat berdasarkan estimasi yang disusun.

IMOM terdiri dari 2 peralatan yaitu *Track Material Monitoring Device* yang dipasang di operasional kereta api untuk merekam gambar kondisi jalur termasuk *fish bolts*, baut rel dan secara otomatis mengidentifikasi abnormalitas komponen jalur rel, serta *body-mounted Track Measurement Device* yang secara terus menerus mengukur ketidakaturan jalur kereta api (tingkat longitudinal, *alignment*, *gauge*, *cross level* dan *twist*) dan secara akurat mengidentifikasi ketidakaturan tersebut.

2. **Malaysia**

Teknologi pendukung untuk pemeriksaan kondisi prasarana (rel) menggunakan bantuan alat ukur yang ada pada kereta yaitu *overhead catenary system* yang terhubung dengan komputer. Untuk perawatan dilakukan sebelum terjadinya kerusakan dengan menggunakan data dugaan awal kerusakan rel yang ada dari sistem tersebut. Penggunaan teknologi tersebut diimplementasi oleh KTMB Malaysia bekerja sama dengan Meidensha (Japanese Railway System Provider) menggunakan *Overhead Catenary Inspection System/Catenary Eye*. Teknologi ini terdiri dari *high speed camera* (*Line Sensor* dan *Area Sensor*), laser sensor dan LED *illumination*, komputer, serta *image processing technology*. Sistem tersebut bisa menginspeksi 480 km dalam 8 jam dan bisa digunakan di berbagai macam jenis kereta (*High speed railway* 300 km/h, *medium speed rail*, *urban transit* dan kendaraan khusus pemeliharaan).

Dengan teknologi pemrosesan gambar dan analisis data maka daya dihemat, selain itu aktivitas pemeliharaan lebih *precise* dibandingkan inspeksi manual. Gambar visual dari *Catenary Eye* akan memberikan kondisi terkini dari *catenary* tanpa perlu berada di lokasi dan menyusun program pemeliharaan.

3. **Inggris** (PT Deloitte Consulting, 2022)

Inggris mengimplementasikan sistem *Railway Infrastructure Alignment Acquisition System* (RILA) untuk mensurvei kondisi aset, posisi dan geometri rel dengan laser, GNSS dan kamera video pada kereta yang beroperasi. Untuk inspeksi dilakukan secara mendalam dengan alat ultrasonic setelah ditemukan *defect* pada pemeriksaan visual.

Inggris juga mengimplementasikan *Internet of Things* (IoT) seperti CCTV dan sensor untuk *remote monitoring*. Dengan teknologi ini, Inggris mampu menghemat tenaga kerja. Misalnya, hanya diperlukan 56 orang saja untuk melakukan inspeksi terhadap lebih dari 7.000 struktur jembatan dan terowongan. Selain itu, juga telah mengoptimalkan Big Data untuk mendukung analisis yang telah dikumpulkan dari IoT dan RILA.

Solusi pemeliharaan prediktif (Aji, 2023) berbasis teknologi juga telah terbukti sangat diperlukan dalam meningkatkan keselamatan perkeretaapian. Dengan memanfaatkan analisis data dan sensor IoT, badan usaha perkeretaapian dapat memprediksi kegagalan peralatan dan melacak kebutuhan pemeliharaan secara *realtime*, secara proaktif mengatasi potensi risiko kecelakaan dan memastikan keandalan infrastruktur perkeretaapian secara berkelanjutan. Dengan menggunakan pemeliharaan prediktif, operator kereta api dapat mengoperasikan kereta tambahan lebih ke dalam layanan sehingga meningkatkan kapasitas sekitar 13%. Berikut beberapa manfaat penerapan pemeliharaan prediktif di beberapa lokasi (Pieriegud, 2018):

Tabel 8 Manfaat Penerapan Pemeliharaan Prediktif untuk Pengawasan Perkeretaapian

Layanan/Jalur kereta api	Manfaat langsung	Nilai tambah
Barcelona Madrid	• Menggunakan pemeliharaan prediktif dalam komitmennya untuk menjalankan layanan Barcelona-Madrid yang tepat waktu; • Mengurangi biaya operasional dan modal bagi operator kereta.	• Membantu meraih pangsa pasar melawan rute penerbangan pesaing.; • Mengurangi dampak lingkungan dari perjalanan.
Eurostar	• Pemantauan komponen kritis meminimalkan kerusakan kereta yang dapat menyebabkan penundaan serius di bawah selat; • Peningkatan ketersediaan sarana perkeretaapian mengarah pada peningkatan kapasitas efektif dan lebih banyak layanan yang ditawarkan.	• Membantu melindungi keandalan sistem dan merek Eurostar.
Russia Velaro	• Memaksimalkan ketersediaan dan meminimalkan gangguan.	• Promosi produk unggulan.
Thameslink	• Menghasilkan ketersediaan layanan di atas batas 99,9%.	• Membantu memastikan konektivitas di seluruh London.

Sumber: Pieriegud, 2018

Penggunaan pemrosesan data digital merevolusi pemeliharaan infrastruktur dan sarana perkeretaapian. Berdasarkan jutaan titik data yang ditangkap dari sensor pada komponen kereta api yang kritis, analitik dapat mendeteksi cacat suku cadang yang akan datang, memastikan pemeliharaan hanya dilakukan saat diperlukan, tetapi sebelum cacat terjadi. Pengetahuan yang andal tentang suku cadang mana yang kemungkinan akan rusak dalam

waktu dekat memungkinkan ketersediaan mendekati 100%, karena kesalahan diperbaiki saat unit sedang tidak beroperasi, sehingga menghindari kerusakan. Hal ini meningkatkan keandalan sistem karena cadangan armada operasional pada umumnya sebesar 5-15% yang disimpan sebagai cadangan jika terjadi kesalahan kini dapat dikurangi, sehingga meningkatkan kapasitas efektif. Terdapat badan usaha (Siemens) yang telah berupaya dalam pengembangan layanan pemeliharaan prediktif sarana dan infrastruktur perkeretaapian selama beberapa tahun, hal ini meliputi (Pieriegud, 2018):

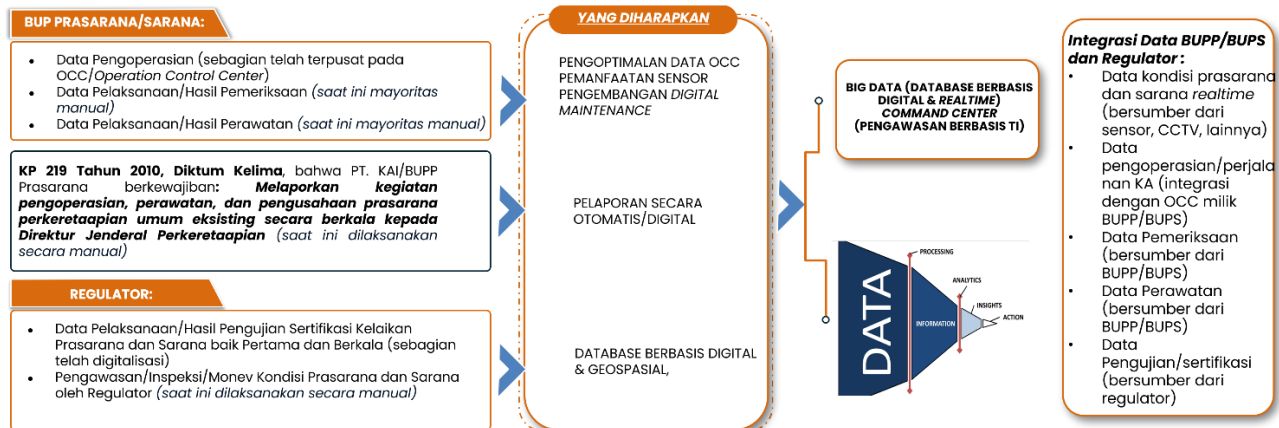
1. Pemantauan jarak jauh lokasi dan kondisi semua kendaraan secara *real-time* (waktu nyata);
2. Diagnostik jarak jauh;
3. Penyelidikan akar penyebab kesalahan;
4. Visualisasi data otomatis;
5. Algoritma untuk analisis kesalahan preventif.

KONSEPSI PENGAWASAN KELAIKAN PRASARANA DAN SARANA PERKERETAAPIAN BERBASIS TEKNOLOGI INFORMASI

Pelaksanaan pengawasan kelaikan sarana dan prasarana perkeretaapian berbasis teknologi informasi dengan pemilihan teknologi informasi yang akan digunakan dengan mempertimbangkan hasil *benchmarking*, kondisi saat ini, serta kebutuhan dan ketersediaan sumber daya. Manfaat dari kebijakan/strategi peningkatan pengawasan kelaikan prasarana dan sarana perkeretaapian berbasis teknologi informasi diantaranya mencakup:

1. Menjamin kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian untuk dioperasikan dalam kondisi laik dan aman;
2. Mendukung pengambilan keputusan pimpinan terkait pengawasan kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian secara cepat dan tepat melalui dukungan penyediaan dan integrasi data termasuk penyediaan dashboard pimpinan;
3. Meminimalkan risiko terjadinya kejadian kecelakaan serta mempermudah analisis penyebab apabila terjadi kecelakaan;
4. Sebagai acuan usulan kegiatan prioritas untuk peningkatan/perawatan prasarana dan sarana perkeretaapian serta mewujudkan tata kelola pengawasan prasarana dan sarana perkeretaapian yang optimal.

Secara umum konsepsi pengawasan kelaikan prasarana dan sarana perkeretaapian berbasis teknologi informasi diuraikan pada Gambar berikut.



Bagan 4 Konsepsi Pengawasan Kelaikan Prasarana dan Sarana Perkeretaapian Berbasis Teknologi Informasi

Untuk meningkatkan kinerja keselamatan penyelenggaraan transportasi perkeretaapian dengan pelaksanaan tugas regulator melalui pengawasan yang efektif, efisien serta *realtime*, diusulkan tahapan kegiatan pengoptimalan teknologi informasi melalui:

1. **Penyediaan data dan informasi berbasis digital yang terintegrasi (big data perkeretaapian)** dari seluruh BUPS, BUPP dan regulator antara lain data pengujian/sertifikasi, data kondisi prasarana dan sarana (memanfaatkan sensor otomatis, CCTV, lainnya), data pengoperasian/perjalanan KA (mengoptimalkan data OCC/CTS), data pemeriksaan serta data perawatan melalui pengembangan *smart maintenance*.
2. **Penyediaan pelaporan otomatis/digital dari BUPS/BUPP** yang berkewajiban menyampaikan laporan kegiatan pengoperasian, perawatan dan pengusahaan prasarana secara berkala kepada Direktorat Jenderal Perkeretaapian sebagaimana izin usaha dan izin operasi yang telah diberikan serta sesuai mana peraturan perundangan.
3. **Penggunaan alat pemantauan kondisi prasarana/sensor/IoT** secara *realtime* sangat dibutuhkan untuk *predictive maintenance* (sebagaimana *benchmarking* teknologi). Selain itu juga diperlukan penyiapan kerangka regulasi (turunan Permenhub Nomor PM 60/2020, kajian awal kebutuhan revisi regulasi) termasuk pengaturan kepada BUPP/BUPS untuk digitalisasi data/pelaporan ke regulator serta pemasangan sensor/perangkat pemantauan prasarana dan sarana).
4. **Pembangunan command center dilengkapi dashboard pengawasan untuk executive** di kantor pusat dan di masing-masing balai di lingkungan Direktorat Jenderal Perkeretaapian yang berfungsi:
 - a. Pengawasan kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian secara *realtime*;
 - b. Pengawasan pelaksanaan pengoperasian, pemeriksaan dan perawatan prasarana dan sarana perkeretaapian oleh BUPS/BUPP sesuai ketentuan;
 - c. Dukungan analisis data dan informasi untuk memastikan keselamatan dan kelancaran operasi/layanan perkeretaapian (upaya preventif dan korektif);

- d. Sebagai acuan pengambilan keputusan termasuk usulan kegiatan prioritas untuk peningkatan/perawatan prasarana dan sarana perkeretaapian;
- e. Mempermudah analisis penyebab apabila terjadi kecelakaan kereta api;
- f. Mendukung penyelenggaraan IMO (*Infrastructure Maintenance and Operation*) dan TAC (*Track Access Charge*) yang akuntabel.

Namun terdapat tantangan diantaranya terkait waktu dan pembiayaan. Pembangunan *command center* membutuhkan waktu yang cukup lama dan biaya tinggi, untuk itu dalam perencanaan perlu dilakukan komunikasi dengan pihak terkait atau dapat melalui mitra kerja sama agar dapat mendampingi Direktorat Jenderal Perkeretaapian sebagai regulator dalam upaya mengintegrasikan data dari operator ke dalam *command center*. Adapun rencana prioritas (*quick win*) direkomendasikan sebagai berikut:

1. Integrasi data pelaporan pengoperasian, pemeriksaan, perawatan dan pengusaha prasarana dan sarana antara regulator dan badan usaha bidang perkeretaapian;
2. Penyiapan perencanaan dan pendampingan terkait pengembangan *command center* serta pengawasan prasarana dan sarana perkeretaapian berbasis teknologi informasi secara komprehensif;
3. Pemilihan lokasi pionir untuk uji coba pengawasan berbasis teknologi informasi dengan pemasangan sensor, integrasi data dan pembangunan *command center* antara lain mempertimbangkan wilayah dengan tingkat risiko tinggi dengan kriteria pemilihan lokasi pionir sebagai berikut:
 - a. Kondisi jalur kereta api/*Track Quality Index* (TQI);
 - b. Kondisi fasilitas operasi/sistem persinyalan elektrik atau mekanik;
 - c. Jumlah keterjadian gangguan operasional;
 - d. Jumlah pemetaan daerah rawan/pemantauan khusus.

Berdasarkan pertimbangan/kriteria di atas, diperoleh lokasi prioritas untuk pionir uji coba pengawasan kelaikan prasarana dan sarana perkeretaapian berbasis teknologi informasi yaitu lokasi **Jawa Barat**. Rincian pertimbangan lokasi prioritas sebagaimana pada Tabel berikut.

Tabel 9 Pertimbangan Lokasi Pionir untuk Uji Coba Pengawasan Kelaikan Prasarana dan Sarana Berbasis Teknologi Informasi

No	Kriteria	Sumatera Utara (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Medan)	Sumatera Barat (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Padang)	Sumatera Selatan dan Lampung (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Palembang)	Banten dan DKI Jakarta termasuk Jabodetabek (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Jakarta)	Jawa Barat (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Bandung)	Jawa Tengah dan DIY (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Semarang)	Jawa Timur (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Surabaya)
1	Kondisi jalur kereta api/ <i>Track Quality</i>	95,21% (5)	89,86% (4)	84,91% (1)	87,88% (3)	84,95% (2)	98,67% (7)	97,29% (6)

No	Kriteria	Sumatera Utara (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Medan)	Sumatera Barat (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Padang)	Sumatera Selatan dan Lampung (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Palembang)	Banten dan DKI Jakarta termasuk Jabodetabek (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Jakarta)	Jawa Barat (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Bandung)	Jawa Tengah dan DIY (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Semarang)	Jawa Timur (Wilayah Balai Teknik Perkeretaapian Surabaya)
	<i>Index</i> (TQI) Kategori I dan II (kondisi aman/nyaman, Kecepatan > 80 km/jam)							
2	Kondisi fasilitas operasi/persentase sistem persinyalan elektrik	55,35% (4)	0,00%/ seluruhnya persinyalan mekanik (7)	34,94% (6)	99,03% (1)	70,65% (3)	87,50% (2)	37,90% (5)
3	Jumlah keterjadian gangguan operasional (periode 13 - 29 Maret 2026)	9 gangguan (6)	2 gangguan (7)	22 gangguan (1)	12 gangguan (4)	14 gangguan (3)	16 gangguan (2)	11 gangguan (5)
4	Jumlah pemetaan daerah rawan/pemantauan khusus	10 lokasi (7)	13 lokasi (6)	34 lokasi (2)	20 lokasi (3)	72 lokasi (1)	17 lokasi (4)	13 lokasi (5)
Prioritas		6	7	2	3	1	4	5

Keterangan:

- Kriteria 1: Semakin rendah TQI, semakin prioritas pengawasan berbasis TI
- Kriteria 2: Semakin banyak persinyalan elektrik, semakin mendukung pengawasan berbasis TI
- Kriteria 3: Semakin banyak gangguan operasional, semakin prioritas pengawasan berbasis TI

- Kriteria 4: Semakin banyak daerah rawan/pemantauan khusus, semakin prioritas pengawasan berbasis TI

Sumber Data Kriteria 1 dan 2: Evaluasi Kinerja Berdasarkan Laporan Monitoring Kinerja Triwulan II Tahun 2026

Sumber Data Kriteria 3: Laporan Analisa dan Evaluasi Penyelenggaraan Angkutan Lebaran Tahun 2026

Sumber Data Kriteria 4: Rencana Operasi Penyelenggaraan Angkutan Lebaran Tahun 2026

KESIMPULAN

Dalam rangka mendukung kinerja keselamatan perjalanan kereta api, perlu ditingkatkan kinerja pengawasan oleh regulator transportasi perkeretaapian khususnya terhadap kondisi kelaikan prasarana dan sarana perkeretaapian melalui pemanfaatan teknologi informasi guna penyediaan data kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian yang memadai/valid dan *realtime*. Pengawasan kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian saat ini mayoritas dilaksanakan dengan cara *manual* dengan beberapa hal telah terdigitalisasi. Selain itu pelaporan dari badan usaha masih dilaksanakan dengan tidak terintegrasi serta tidak lengkap dilaporkan kepada regulator guna memudahkan regulator melakukan pengawasan. Hal lain adalah pelaksanaan fungsi pengawasan/inspeksi/audit penyelenggaraan sarana dan prasarana perkeretaapian masih belum terdokumentasi dengan baik. Di sisi lain, pelaksanaan pemeriksaan dan perawatan sarana dan prasarana perkeretaapian mayoritas masih dilakukan secara manual, termasuk minim mengimplementasikan *predictive maintenance* atau *smart maintenance* untuk memperoleh data kondisi sarana dan prasarana secara *realtime*. Seiring dengan perkembangan teknologi, peningkatan pengawasan terhadap kelaikan prasarana dan sarana perkeretaapian yang akurat dan *realtime* ke dalam suatu sistem *database* berbasis digital yang *realtime* serta pengawasan berbasis teknologi informasi. Pemanfaatan hasil *benchmarking* (Jepang, Inggris, Malaysia, negara lainnya) termasuk pemanfaatan pemeliharaan prediktif dalam upaya peningkatan pengawasan kondisi prasarana dan sarana perkeretaapian perlu diterapkan dengan penggunaan teknologi pengawasan sarana dan prasarana yang cocok dan mudah diimplementasikan di Indonesia secara bertahap. Rekomendasi kebijakan secara bertahap meliputi integrasi data dan pelaporan terkait pengoperasian, pemeriksaan, perawatan dan pengusahaan perkeretaapian antara regulator dan badan usaha, penyiapan perencanaan dan pendampingan terkait pembangunan *command center* serta pelaksanaan uji coba pengawasan berbasis teknologi informasi dengan pemasangan sensor, integrasi data dan pembangunan *command center* di lokasi pionir Jawa Barat (segmen tertentu) sesuai pertimbangan wilayah dengan tingkat risiko tinggi. Sebagai tindak lanjut, terdapat beberapa catatan yang diperlukan sebagai persiapan untuk mendukung penerapan rekomendasi kebijakan tersebut, diantaranya: Kebutuhan penyiapan turunan regulasi Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 60 Tahun 2020 tentang Pengawasan Prasarana dan Sarana Perkeretaapian Berbasis Teknologi Informasi berupa petunjuk teknis bagi badan usaha penyelenggaraan prasarana dan sarana perkeretaapian, termasuk revisi beberapa regulasi/ketentuan teknis untuk penyesuaian sesuai kebutuhan; Kebutuhan kesepatan bersama melalui *Memorandum of understanding* (MoU) dan/atau perjanjian kerja sama dengan seluruh badan usaha penyelenggaraan prasarana dan sarana perkeretaapian

untuk penyamaan standar teknis dan langkah-langkah/peta jalan penerapan diantaranya dalam penyediaan sensor di prasarana/sarana, integrasi data dan pembangunan *Command Center* secara bertahap; Dukungan anggaran untuk pelaksanaan uji coba pengawasan kelaikan prasarana dan sarana perkeretaapian berbasis teknologi informasi berlokasi Jawa Barat pada segmen tertentu (alternatif Depok – Bogor, Cikampek – Cirebon/lainnya) yang juga memerlukan kajian teknis lebih lanjut untuk penetapannya; Dukungan sumber daya manusia yang memadai dengan memperbanyak kerja sama/*benchmarking*/pelatihan dan pendidikan berkala dengan negara lain yang telah menerapkan transformasi digital secara komprehensif (alternatif Jepang, Cina, lainnya) dengan pertimbangan teknologi prasarana dan sarana yang banyak digunakan di Indonesia. Transformasi sistem pengawasan perkeretaapian diharapkan tidak hanya meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional, tetapi juga memperkuat daya saing sektor perkeretaapian nasional di tingkat global. Dengan pendekatan yang terstruktur dan kolaboratif, Indonesia dapat membangun ekosistem transportasi rel yang lebih tangguh, modern, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustriana, T. M., Puruhita, H. W., Fikria, A., Arifidin, M. A., Churniawan, E., Arifianto, T., & Malaiholo, D. (2023). Kebijakan Pemerintah Dalam Pembiayaan Penyelenggaraan Perkeretaapian. *Jurnal Locus Penelitian Dan Pengabdian*, Vol. 2 No. 5, 401-409.
- Ahdiat, A. (2024, Januari 5). *Riwayat Kecelakaan Kereta Api Di Indonesia*, Mayoritas Anjlok. Retrieved From Databoks.Katadata.Co.Id: <https://databoks.katadata.co.id/transportasi-logistik/statistik/f1eb548618f7706/riwayat-kecelakaan-kereta-api-di-indonesia-mayoritas-anjlok>
- Aji, W. (2023). *Meningkatkan Keselamatan Kereta Api Melalui Pengenalan Teknologi*. Jakarta: Direktorat Keselamatan Perkeretaapian, Direktorat Jenderal Perkeretaapian.
- Christian, A., Anggraeni, Y. M., & Bayu, D. (2025). Penganggaran Biaya Perawatan Dan Pengoperasian Prasarana Perkeretaapian Milik Negara Di Indonesia. *Quantum Juris: Jurnal Hukum Modern Volume 07, No. 3*, 287-298.
- Dahlan, Wibowo, H., Arsyad, M., Abdurachman, A., & Puspita, S. R. (2021). Transformasi Digital Perkeretaapian Di Eropa Dan Indonesia. *Jurnal Sistem Transportasi & Logistik*, 19-26.
- Direktorat Jenderal Anggaran Kementerian Keuangan. (2015). *Kajian Anggaran Bidang Perkeretaapian Sebagai Pendukung Pembangunan Bidang Infrastruktur Di Indonesia*. Jakarta: Direktorat Jenderal Anggaran Kementerian Keuangan.
- Direktorat Jenderal Perkeretaapian. (2024). *Transformasi Digital Transportasi Perkeretaapian*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkeretaapian.
- Direktorat Jenderal Perkeretaapian. (2026). *Evaluasi Kinerja Berdasarkan Laporan Monitoring Kinerja Triwulan Ii Tahun 2026*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkeretaapian.
- Direktorat Jenderal Perkeretaapian. (2026). *Laporan Analisa Dan Evaluasi Penyelenggaraan Angkutan Lebaran Tahun 2026 (1447 H) Bidang Perkeretaapian*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkeretaapian.

- Direktorat Jenderal Perkeretaapian. (2026). *Laporan Tahunan Direktorat Jenderal Perkeretaapian Tahun 2025*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkeretaapian.
- Direktorat Jenderal Perkeretaapian. (2026). *Perkeretaapian Dalam Angka Semester I Tahun 2025*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkeretaapian.
- Direktorat Jenderal Perkeretaapian. (2026). *Rencana Operasi Penyelenggaraan Angkutan Lebaran Tahun 2026 (1447 H) Bidang Perkeretaapian*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkeretaapian.
- Direktorat Sarana Perkeretaapian. (2022). *Studi Grand Desain Pembangunan Sistem Pengawasan Kelaikan Pengoperasian Perkeretaapian Menggunakan Teknologi Informasi*. Jakarta: Direktorat Sarana Perkeretaapian, Direktorat Jenderal Perkeretaapian.
- Jamhari, S., Prakosa, D., & Montanasyah, M. (2026). Peran Manajemen Sumber Daya Manusia Berbasis Kompetensi Dan Safety Culture Dalam Meningkatkan Kinerja Operasional Perkeretaapian. *Jurnal Manajemen, Bisnis Dan Kewirausahaan (Jumbiku) Volume 6, Nomor 1*, 798-811 .
- Jr East. (2017, Juli 10). Retrieved From https://www.jreast.co.jp/https://www.jreast.co.jp/E/Development/Tech/Pdf_17/Tec-17-07-10eng.Pdf
- Kinantya D., P. (2025). *Pengawasan Sarana Perkeretaapian: Menuju Transportasi Rel Yang Modern Dan Aman*. Jakarta: Pusat Kebijakan Keselamatan Dan Keamanan Transportasi.
- Liu, X., Saat, M., & Barkan, C. (2012). Analysis Of Causes Of Major Train Derailment And Their Effect On Accident Rates. *Transportation Research Record (Trr)*.
- Mardiana, S., Hamdani, D., Chaniago, M., Wahyu, A. P., Heryono, H., & Suhendri, S. (2020). Sistem Informasi Pemeriksaan Jalur Kereta Api Menggunakan Drone Dan Teknik Image Processing. *Joint: Journal Of Information Technology, Vol 2 No 1*, 9-12.
- Peraturan Menteri Perhubungan Nomor Pm 59 Tahun 2023 Tentang Pedoman Perhitungan Biaya Perawatan Dan Pengoperasian Prasarana Perkeretaapian Milik Negara. (N.D.).
- Peraturan Menteri Perhubungan Nomor Pm 59 Tahun 2023 Tentang Pedoman Perhitungan Biaya Perawatan Dan Pengoperasian Prasarana Perkeretaapian Milik Negara. (N.D.).
- Peraturan Menteri Perhubungan Nomor Pm 60 Tahun 2020 Tentang Pengawasan Prasarana Dan Sarana Perkeretaapian Berbasis Teknologi Informasi. (N.D.).
- Pieriegud, J. (2018). *Digital Transformation Of Railways*. Warsawa: Siemens Sp. Z O.O. Retrieved From <https://rail-research.europa.eu>.
- Pt Deloitte Consulting. (2022). *Penyusunan Kebijakan Dan Regulasi Terkait Infrastructure Maintenance And Operation (Imo) Serta Track Acces Charge (Tac) Di Bidang Prasarana Perkeretaapian*. Jakarta: Pt Deloitte Consulting.
- Shadrina, R. N. (2022, September 12). *Knkt Sebut Masalah Perawatan Perkeretaapian Masih Jadi Permasalahan*. Retrieved From www.gatra.com/News-552185-Ekonomi-Knkt-Sebut-Masalah-Perawatan-Perkeretaapian-Masih-Jadi-Permasalahan.Html
- Shadrina, R. N. (2022, September 12). *Peran Regulasi Penting Guna Awasi Sarpras Perkeretaapian*. Retrieved From www.gatra.com/News-552193-Ekonomi-Peran-Regulasi-Penting-Guna-Awasi-Sarpras-Perkeretaapian.Html

- Shimizu, K. (2022, September 22). Retrieved From <https://Mainichi.Jp:https://Mainichi.Jp/English/Articles/20220921/P2a/00m/0bu/010000c>
- Suryanto, E. (2024, Desember 30). *Pembagian Peran Regulator Dan Operator Dalam Sistem Transportasi Nasional Perkretaapian*. Retrieved From <https://Wartaekonomi.Co.Id/:https://Wartaekonomi.Co.Id/Read553721/Pembagian-Peran-Regulator-Dan-Operator-Dalam-Sistem-Transportasi-Nasional-Perkretaapian>
- Tempo. (2024, Januari 15). Retrieved From <https://Www.Tempo.Co/:https://Www.Tempo.Co/Ekonomi/Dua-Kecelakaan-Kereta-Api-Terjadi-Di-Awal-2024-Pengamat-Transportasi-Bisa-Cederai-Kepercayaan-Masyarakat-97883>