

Analisis Spasial Risiko Banjir terhadap Operasional Bus Listrik Transjakarta Koridor Daan Mogot

Nuvika Razak¹, Muhammad Arif Arofah²

Program Studi Teknik Sipil Universitas Tarakanita, Komp. Billy Moon, RT.1/RW.6,
Pd. Klp., Kec. Duren Sawit, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13450

e-mail : nuvika@utarki.ac.id¹, *e-mail* : arif@utarki.ac.id²

Abstract

Flooding is the primary hydrometeorological disruption threatening the reliability of public transportation in Jakarta, particularly along the Daan Mogot Corridor as a vital megapolitan route. This study aims to analyze the spatial impact of floods on Transjakarta operations and evaluate the gaps in Minimum Service Standards (SPM) regulation from a risk management perspective. The method applied is a descriptive quantitative approach through spatial analysis using Geographic Information System (GIS) and policy evaluation based on historical data. Research results identify critical points in the Kalideres and Pesing segments with inundation depths of 30-60 centimeters, exceeding the technical safety thresholds of the electric bus fleet. This disruption is validated through traffic index data showing travel time increases exceeding 30% and the closure of strategic stations. Policy analysis reveals that DKI Jakarta Governor Regulation Number 2 of 2024 is still normative-responsive and lacks specific technical operational parameters of electric bus technology. This study recommends a transformation toward a smart transportation system through real-time GIS platform integration and predictive risk-based regulatory updates to enhance the resilience of the mass transit system.

Key Words: Disaster Risk Management, Electric Bus, GIS, Operational Resilience, Minimum Service Standards

Abstrak

Banjir merupakan disruptsi hidrometeorologi utama yang mengancam reliabilitas transportasi publik di Jakarta, khususnya pada Koridor Daan Mogot sebagai jalur vital megapolitan. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak spasial banjir terhadap operasional Transjakarta serta mengevaluasi kesenjangan regulasi Standar Pelayanan Minimal (SPM) dalam perspektif manajemen risiko. Metode yang diterapkan adalah pendekatan kuantitatif deskriptif melalui analisis spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (GIS) dan evaluasi kebijakan berbasis data historis. Hasil penelitian mengidentifikasi titik kritis pada segmen Kalideres dan Pesing dengan kedalaman 30-60 sentimeter yang melampaui ambang batas keamanan teknis armada bus listrik. Disrupsi ini divalidasi melalui data *traffic index* yang menunjukkan peningkatan waktu tempuh melebihi 30% serta penutupan halte strategis. Analisis kebijakan mengungkapkan bahwa Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 2 Tahun 2024 masih bersifat normatif-responsif dan belum memiliki parameter teknis operasional yang spesifik bagi teknologi bus listrik. Penelitian ini merekomendasikan transformasi menuju sistem transportasi cerdas melalui integrasi platform GIS *real-time* dan pembaruan regulasi berbasis mitigasi risiko prediktif guna meningkatkan ketahanan sistem transportasi massal.

Kata Kunci: Manajemen Risiko Bencana, Bus Listrik, GIS, Ketahanan Operasional, Standar Pelayanan Minimal

PENDAHULUAN

Mobilitas masyarakat di kota-kota besar, termasuk Jakarta, meningkat sebagai akibat dari kemajuan transportasi perkotaan. Selain menjadi salah satu industri yang paling banyak mengonsumsi energi, sektor transportasi juga bertanggung jawab atas sejumlah besar emisi gas rumah kaca. Menurut data yang dikumpulkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, sektor transportasi bertanggung jawab atas sekitar 40% dari konsumsi energi nasional, dengan penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Kondisi ini mendorong pemerintah untuk membangun sistem transportasi yang mengurangi emisi dengan mengadopsi kendaraan listrik, termasuk bus listrik untuk layanan Transjakarta.

Transjakarta, salah satu sistem transportasi publik terbesar di Indonesia, memulai pengoperasian bus listrik sebagai bagian dari upaya mendukung target net zero emission dan pengurangan emisi karbon perkotaan. Bus listrik dianggap lebih ramah lingkungan daripada bus berbahan bakar diesel karena lebih efisien dan mengurangi emisi gas buang. Selain itu, pengembangan transportasi publik berbasis listrik adalah bagian dari rencana pembangunan transportasi berkelanjutan yang ditetapkan pemerintah Indonesia.

Namun demikian, risiko banjir perkotaan adalah salah satu dari banyak tantangan yang menghadapi operasional bus listrik di kota-kota. Karena curah hujan tinggi, penurunan muka tanah, kepadatan kawasan terbangun, dan sistem drainase yang buruk, Jakarta adalah kota yang sangat rentan terhadap banjir. Sebagaimana dilaporkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), banjir adalah bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di DKI Jakarta dalam beberapa tahun terakhir. Selain mengganggu aktivitas masyarakat, genangan banjir berdampak langsung pada transportasi publik. Ini termasuk gangguan rute, keterlambatan perjalanan, dan penghentian layanan sementara.

Koridor Daan Mogot adalah koridor strategis yang menghubungkan wilayah Jakarta Barat dengan pusat ekonomi dan permukiman dan merupakan salah satu daerah yang memiliki tingkat kerentanan terhadap banjir yang tinggi. Saat hujan lebat, beberapa lokasi di Jalan Daan Mogot sering mengalami genangan, mengganggu lalu lintas dan angkutan umum. Kondisi ini membuat operasional bus listrik lebih sulit karena sistem baterai dan bagian kelistrikan bus listrik sensitif terhadap genangan air. Studi sebelumnya tentang banjir di Jakarta sebagian besar berkonsentrasi pada pemetaan kerawanan banjir dengan menggunakan sistem informasi geografis (GIS). (Kiparisov, Lagutov, & Pflug, 2023). Meskipun pemodelan spasial tersebut efektif untuk memetakan area rawan, penelitian tersebut belum menyentuh spesifikasi teknis armada transportasi publik modern. Analisis hidrologi, pemodelan spasial, dan metode overlay berat digunakan untuk menentukan area di Jakarta yang rawan banjir. Sebaliknya, penelitian tentang Transjakarta berfokus pada pelayanan, kemudahan akses, dan pengembangan transportasi berkelanjutan. Namun, penelitian tentang bus listrik biasanya berkonsentrasi pada efisiensi energi, kinerja kendaraan, dan pengurangan emisi karbon.

Namun, penelitian terdahulu belum secara khusus mempelajari bagaimana risiko banjir mempengaruhi operasional bus listrik di koridor transportasi tertentu—khususnya di Koridor Daan Mogot, yang memiliki karakteristik yang rawan genangan—dan belum melakukan penelitian yang mengintegrasikan analisis spasial risiko banjir dengan operasional bus listrik Transjakarta. Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya membagi analisis kebencanaan dari analisis sistem transportasi. Akibatnya, mereka belum menghasilkan pendekatan yang komprehensif untuk mendukung ketahanan transportasi publik terhadap bencana perkotaan. (Ikhlas Nur Muhammad, 2025)

Dengan mempertimbangkan keadaan ini, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi risiko banjir yang disebabkan oleh operasional bus listrik Transjakarta di Koridor Daan Mogot. Diharapkan

penelitian ini dapat menemukan titik rawan gangguan operasional akibat banjir serta memberikan solusi untuk meningkatkan ketahanan layanan transportasi publik yang menggunakan kendaraan listrik.

Kebaruan penelitian ini adalah menggabungkan analisis spasial risiko banjir dan analisis operasi bus listrik Transjakarta di koridor transportasi tertentu. Pemetaan kerentanan banjir secara spasial penting untuk mendukung ketahanan infrastruktur transportasi di wilayah metropolitan yang padat (Ikhlas Nur Muhammad, 2025). Studi ini tidak hanya membandingkan tingkat kerawanan banjir, tetapi juga menganalisis hubungan antara tingkat risiko banjir dan kemungkinan gangguan pada operasi transportasi publik berbasis EV. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan cara baru untuk mempelajari transportasi yang berkelanjutan dan strategi mitigasi bencana perkotaan yang berbasis spasial. Informasi spasial mengenai kerawanan banjir penting untuk mendukung perencanaan jaringan transportasi dan operasional angkutan umum di wilayah perkotaan. (Alya Nur Zhafira, 2025)

Kajian Teori: Bus Listrik

Bus listrik adalah angkutan umum yang menggunakan energi listrik sebagai sumber energi utama, yang menggantikan bahan bakar seperti solar atau bensin. Energi listrik ini disimpan dalam baterai atau disuplai langsung dari jaringan listrik. Berbeda dengan bus konvensional, bus listrik tidak menghasilkan emisi gas buang secara langsung (Manzoli, Trovão, & Antunes, 2022). Konsep ini juga berkaitan erat dengan dekarbonisasi sektor transportasi, di mana elektrifikasi kendaraan menjadi salah satu strategi utama dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

Klasifikasi bus listrik terdiri dari beberapa jenis, yaitu *Battery Electric Bus (BEB)*, *Trolley Bus*, dan *Hybrid Electric Bus*. *BEB* merupakan jenis bus listrik yang menggunakan baterai sebagai sumber energi utama. Teknologi baterai lithium-ion banyak digunakan karena memiliki kapasitas penyimpanan energi yang tinggi dan efisiensi yang baik. *Trolleybus* adalah bus yang beroperasi di jalan raya yang menggunakan sumber listrik langsung dari jaringan kabel udara. Kendaraan ini ramah lingkungan dan tidak menghasilkan emisi lokal. Sistem seperti ini memiliki efisiensi tinggi, tetapi membutuhkan investasi infrastruktur yang besar dan kurang fleksibel. *Hybrid Electric Bus* merupakan bus *hybrid* yang memiliki kombinasi antara mesin pembakaran internal, biasanya berupa diesel, dan motor listrik yang bertenaga baterai. Sistem ini bisa mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi, meskipun tidak sepenuhnya bebas emisi, tetapi bisa mengoptimalkan kinerja transportasi dalam perkotaan. Pengembangan kendaraan listrik merupakan salah satu pendekatan paling menjanjikan untuk mengurangi konsumsi energi berbasis minyak bumi dan emisi gas rumah kaca dalam jangka panjang (Yunia Adini & Permana, 2025)

Komponen utama bus listrik terdiri dari baterai sebagai penyimpanan energi, motor listrik sebagai penggerak, inverter untuk konversi arus listrik, sistem kontrol energi dan sistem pengisian daya. Penelitian terbaru menyatakan bahwa performa sistem penggerak bus listrik sangat dipengaruhi oleh kapasitas baterai, daya motor, serta karakteristik hambatan kendaraan seperti *rolling resistance* dan *drag aerodinamis*

Prinsip kerja bus listrik adalah dengan cara mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui motor listrik untuk memutar roda. Energi tersebut disimpan di dalam baterai, kemudian dikonversi oleh inverter untuk menggerakkan motor. Saat pedal gas ditekan, energi dari baterai diubah menjadi AC oleh inverter untuk menggerakkan motor, yang sering kali menggunakan sistem pengereman regeneratif untuk mengisi ulang baterai saat melambat. Kinerja pelayanan transportasi umum berbasis listrik dipengaruhi oleh ketepatan waktu operasional, aksesibilitas halte, dan kualitas informasi perjalanan yang diterima pengguna (Imma Widyawati Agustin, 2024)

Bus listrik memiliki beberapa keunggulan, di antaranya efisiensi energi, ramah lingkungan, pengurangan emisi global, dan kebisingan rendah. Bus listrik memiliki efisiensi energi yang lebih tinggi

dibandingkan dengan bus berbahan bakar diesel. Hal ini karena motor listrik mampu mengonversi energi hingga 90%. Bus listrik menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan dengan kendaraan lain yang berbahan bakar fosil. Studi literatur terdahulu menunjukkan bahwa emisi CO₂ bus listrik lebih rendah dibandingkan dengan bus konvensional dalam satu siklus operasi (Kasus, Jogja, Rismana, Budiarto, & Harto, n.d.). Bus listrik menghasilkan kebisingan yang relatif rendah sehingga meningkatkan kenyamanan lingkungan perkotaan (Manzolli et al., 2022)

Meskipun memiliki banyak keunggulan, bus listrik juga menghadapi beberapa tantangan, di antaranya biaya investasi tinggi, di mana biaya awal bus listrik lebih mahal dibandingkan bus diesel, terutama dikarenakan harga baterai yang tinggi. Infrastruktur pengisian daya masih terbatas dan membutuhkan banyak tempat pengisian daya yang tersebar. Manajemen energi, di mana dibutuhkan pengelolaan energi dan penjadwalan pengisian, menjadi tantangan utama dalam operasional bus listrik. Kapasitas dan umur baterai memiliki keterbatasan dan memerlukan penggantian setelah beberapa periode tertentu. Infrastruktur pendukung lainnya dalam teknik sipil seperti stasiun pengisian daya, jaringan listrik berkapasitas tinggi, desain terminal dan halte, sistem manajemen transportasi. Dilanjutkan dengan kekurangan lainnya seperti dampak lingkungan dan sosial, di mana penggunaan bus listrik memberikan dampak positif terhadap lingkungan, terutama dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi udara serta polusi suara.

Kajian Teori: Jenis-jenis Bus Listrik

Setiap jenis bus listrik memiliki karakteristik teknis yang berbeda, yang berarti bahwa pendekatan yang berbeda untuk penyediaan infrastruktur dan pengelolaan operasional diperlukan. Karena itu, dalam sistem transportasi perkotaan modern, bus listrik diklasifikasikan menurut ukuran, kapasitas, dan fungsi operasionalnya. Klasifikasi ini sangat penting untuk perencanaan transportasi. Pemilihan jenis bus listrik dalam teknik sipil sangat bergantung pada kapasitas jalan, desain geometrik, dan efisiensi sistem transportasi secara keseluruhan. Dari perspektif manajemen risiko bencana, perbedaan dimensi dan konfigurasi mekanikal pada setiap jenis bus ini berbanding lurus dengan tingkat ketahanan operasionalnya terhadap genangan air.

Salah satu jenis bus listrik standar, yang panjangnya sekitar 9-12 meter dan menampung 40–80 orang, adalah salah satu jenis bus listrik yang paling banyak digunakan. Bus ini banyak digunakan di rute utama di kawasan perkotaan karena sangat fleksibel dan dapat melayani sebagian besar kondisi jalan. Selain itu, bus jenis ini lebih mudah diintegrasikan ke dalam sistem transportasi yang sudah ada karena tidak memerlukan perubahan infrastruktur yang signifikan. Pada bus standar, modul baterai sering kali diletakkan di bagian atap (*roof-mounted*) untuk mengoptimalkan ruang kabin sekaligus memberikan perlindungan ekstra dari paparan air di level jalan. Namun, bus jenis ini tetap memiliki titik lemah pada sistem motor penggerak yang umumnya terletak sejajar dengan poros roda bawah.

Bus listrik gandeng atau articulated *electric bus* memiliki kapasitas lebih besar daripada bus biasa. Bus jenis ini memiliki dua bagian yang dihubungkan melalui sambungan fleksibel yang memungkinkan mobil memiliki panjang 18 hingga 25 meter. Sangat cocok untuk koridor dengan banyak penumpang, seperti sistem *Bus Rapid Transit* (BRT), karena dapat menampung lebih dari 100 orang. Meskipun memiliki kapasitas yang lebih besar, penggunaan bus gandeng membutuhkan perencanaan infrastruktur yang cermat, terutama dalam hal lebar jalan, radius tikungan, dan desain halte. Bus jenis ini mungkin tidak dapat melalui jalan yang sempit atau dengan banyak tikungan tajam. Dalam kondisi banjir, bus gandeng memiliki risiko teknis tambahan pada bagian sambungan fleksibel (*articulation joint*) yang menampung banyak kabel sensor dan konektor listrik; kebocoran pada sistem seal pelindung di area ini akibat tekanan air dinamis dapat menyebabkan kegagalan sistem sinkronisasi penggerak antara bagian depan dan belakang bus.

Bus listrik *double decker* adalah jenis lain yang dapat menampung lebih banyak orang tanpa menambah panjang kendaraan dan biasanya digunakan pada rute yang sangat diminati atau di tujuan wisata. Bus ini memiliki kapasitas yang lebih besar daripada bus standar, sehingga ia dapat menggunakan ruang jalan dengan lebih efisien. Namun, saat digunakan, tinggi bebas (*clearance*) seperti jembatan penyeberangan, kabel listrik, dan struktur lain yang melintasi jalan harus diperhatikan. Dalam pengoperasian bus jenis ini, stabilitas kendaraan juga sangat penting. Tantangan utama bus *double decker* saat banjir adalah posisi kompartemen baterai yang biasanya diletakkan di bagian belakang bawah sasis untuk menjaga pusat gravitasi (*center of gravity*) tetap rendah demi stabilitas. Konfigurasi ini menjadikannya tipe yang paling rentan terhadap genangan air menengah (30–50 cm) dibandingkan bus standar yang menyimpan baterai di atap, karena komponen elektrik tegangan tinggi tersebut akan lebih cepat terendam dan memicu sistem *auto-shutdown*.

Bus listrik *midi* juga lebih kecil daripada bus biasa, dengan panjang 7 hingga 9 meter dan kapasitas 25 hingga 40 orang. Bus *midi* biasanya digunakan pada rute dengan permintaan sedang atau di daerah jalan yang tidak terlalu lebar. Bus ini memiliki dua keunggulan utama: ia dapat bergerak dengan mudah dan tidak menggunakan banyak listrik. Namun, kapasitasnya yang terbatas membuatnya tidak efisien jika digunakan di koridor dengan banyak penumpang.

Sebaliknya, bus dengan ukuran paling kecil disebut mikrobus listrik atau minibus listrik dan biasanya digunakan sebagai pengumpan. Kapasitasnya antara sepuluh dan dua puluh orang, sehingga cocok untuk permukiman, jalan lingkungan, atau lokasi dengan akses terbatas. Mikrobus listrik memainkan peran penting dalam membantu konektivitas *first mile* dan *last mile*, yaitu menghubungkan orang dari titik awal ke moda transportasi utama. Keberadaan mikrobus listrik dapat membantu dalam perencanaan transportasi perkotaan karena dapat meningkatkan aksesibilitas dan memperluas jangkauan layanan transportasi umum.

Selain itu, ada bus listrik yang dibuat khusus untuk sistem *Bus Rapid Transit (BRT)*. Bus listrik BRT biasanya memiliki kapasitas besar dan beroperasi pada jalur khusus yang terpisah dari lalu lintas umum. Waktu tempuh yang lebih cepat dan lebih pasti dimungkinkan oleh sistem ini karena tidak terpengaruh oleh kemacetan. Penggunaan bus listrik dalam jaringan BRT juga menawarkan manfaat tambahan, seperti penurunan emisi dan peningkatan efisiensi energi. Namun, untuk menerapkan sistem ini, diperlukan pengeluaran yang signifikan untuk membangun infrastruktur seperti jalur khusus, halte modern, dan sistem manajemen transportasi yang terintegrasi.

Jenis lain adalah *shuttle* bus listrik yang digunakan untuk melayani rute pendek dengan rute tetap, seperti ke bandara, kampus, atau perkantoran. *Shuttle* bus biasanya memiliki kapasitas kecil hingga sedang dan dirancang untuk mengangkut orang dengan cepat dalam area terbatas. Penggunaan bus ini menurunkan penggunaan kendaraan pribadi di wilayah tertentu, yang dapat mengurangi tingkat kemacetan dan emisi.

Bus listrik juga dapat dibagi menjadi bus utama (*trunk line*), bus *feeder*, dan bus khusus (bus wisata). Bus utama melayani rute dengan banyak penumpang, sedangkan bus *feeder* menghubungkan kawasan permukiman dengan rute utama. Bus wisata, di sisi lain, biasanya dirancang dengan mempertimbangkan kenyamanan pengguna dan daya tarik, seperti penggunaan bus *double decker*.

Pemilihan jenis bus listrik dalam perencanaan transportasi harus memperhitungkan banyak hal penting, seperti jumlah penumpang, kondisi jalan, pola pergerakan, dan ketersediaan infrastruktur. Bus gandeng atau bus BRT lebih efisien digunakan di koridor dengan banyak penumpang karena mampu mengangkut lebih banyak orang dalam satu perjalanan. Sebaliknya, mikrobus atau bus *midi* lebih sesuai digunakan di daerah dengan jalan sempit atau permintaan rendah. Kondisi geometri jalan, seperti lebar jalan dan radius tikungan, juga memengaruhi jenis bus yang dipilih.

Dari sudut pandang teknik sipil, jenis bus listrik yang digunakan akan memengaruhi desain dan

perencanaan infrastruktur transportasi. Misalnya, bus gandeng membutuhkan lebar jalan dan radius tikungan yang lebih besar dibandingkan dengan bus biasa. Sementara itu, bus double decker membutuhkan tinggi bebas jalan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, untuk membuat sistem transportasi yang efisien dan berkelanjutan, integrasi antara jenis kendaraan dan infrastruktur sangat penting.

Secara keseluruhan, berbagai jenis bus listrik memberikan fleksibilitas dalam perencanaan sistem transportasi perkotaan. Dengan memilih jenis bus yang tepat untuk memenuhi kebutuhan dan kondisi lapangan, sistem transportasi dapat berjalan lebih efektif, efisien, dan ramah lingkungan, sejalan dengan tujuan pengembangan transportasi berkelanjutan yang tidak hanya berfokus pada mobilitas tetapi juga pada kelestarian lingkungan dan peningkatan kualitas hidup masyarakat.

Kajian Teori: Manajemen Risiko dan Ketahanan Transportasi

Tata kelola risiko kebencanaan merupakan kerangka kerja strategis yang bertujuan untuk memetakan, menaksir, serta memitigasi dampak destruktif dari fenomena alam terhadap stabilitas ekonomi dan sosial masyarakat. Dalam ekosistem layanan publik, efektivitas kerangka kerja ini sangat bertumpu pada tingkat ketahanan infrastruktur transportasi, yang diartikan sebagai kapabilitas sistem dalam mempertahankan kontinuitas pelayanan, beradaptasi terhadap fluktuasi kondisi lingkungan yang ekstrem, serta mempercepat proses pemulihan operasional pasca terjadinya disrupsi. Ketangguhan operasional ini melampaui sekadar aspek fisik konstruksi, melainkan mencakup ketajaman sistem dalam mengantisipasi variabel risiko yang dinamis di kawasan megapolitan yang rentan terhadap gangguan hidrometeorologi seperti Jakarta. Sinergi antara pemahaman risiko fundamental dan responsivitas sistem menjadi parameter utama dalam menentukan keberhasilan mitigasi pada jaringan transportasi massal yang kompleks.

Transformasi menuju ketahanan infrastruktur yang modern kini menuntut adanya sinergi antara rekayasa fisik dengan keunggulan teknologi digital. Pemanfaatan instrumen Sistem Informasi Geospasial (GIS) dan Analisis Risiko berbasis Komputasi berperan sebagai pilar utama dalam menyediakan data spasial yang presisi bagi pengambilan kebijakan mitigasi. Implementasi manajemen risiko pada sistem transportasi megapolitan kini telah bertransformasi menuju penggunaan infrastruktur berbasis data, di mana pengambilan keputusan mitigasi tidak lagi hanya bersandar pada observasi fisik konvensional, melainkan pada integrasi data komputasi yang masif. Konsep infrastruktur cerdas (*smart infrastructure*) dalam konteks ketahanan operasional Transjakarta menuntut adanya sinergi antara desain fisi rute dengan sistem informasi geospasial yang mampu memodelkan potensi disrupsi hidrometeorologi secara prediktif. Penggunaan pemodelan komputasi dalam menaksir risiko banjir memungkinkan pengelola infrastruktur untuk melakukan transisi dari manajemen krisis yang bersifat reaktif menuju strategi pencegahan yang lebih prediktif dan berbasis data digital.

Implementasi manajemen risiko pada sistem transportasi megapolitan kini telah bertransformasi menuju penggunaan infrastruktur berbasis data, di mana pengambilan keputusan mitigasi tidak lagi hanya bersandar pada observasi fisik konvensional, melainkan pada integrasi data komputasi yang masif. Konsep infrastruktur cerdas dalam konteks ketahanan operasional Transjakarta menuntut adanya sinergi antara desain fisik rute dengan sistem informasi geospasial yang mampu memodelkan potensi disrupsi hidrometeorologi secara prediktif. Dalam ekosistem ini, data bukan hanya berfungsi sebagai instrumen pelaporan, tetapi juga sebagai aset strategis untuk melakukan simulasi skenario banjir yang dapat berdampak pada degradasi komponen infrastruktur digital dan mekanikal armada modern. Hal ini sejalan dengan upaya pembangunan berkelanjutan (*sustainable engineering*) yang mengutamakan efisiensi energi melalui penggunaan armada listrik, namun tetap harus didukung oleh ketangguhan sistem terhadap fluktuasi lingkungan ekstrem

Urgensi Operasional dan Tantangan Bus Listrik

Koridor Daan Mogot merupakan urat nadi transportasi yang sangat krusial bagi mobilitas masyarakat di wilayah Jakarta Barat, mengingat perannya sebagai penghubung utama antara pusat kota di Terminal Kalideres serta kawasan penyangga di sekitarnya. Sebagai rute yang melayani operasional 24 jam melalui Koridor 3, jalur ini memiliki intensitas pergerakan kendaraan yang sangat tinggi dan melewati kawasan padat aktivitas industri serta permukiman. Namun, efektivitas layanan Transjakarta di koridor ini terus menghadapi tantangan besar akibat disrupsi banjir yang dipicu oleh kombinasi curah hujan ekstrem, penurunan muka tanah, serta kegagalan sistem drainase perkotaan. Data lapangan menunjukkan bahwa genangan di titik-titik kritis seperti Rawa Buaya, Jembatan Baru, dan Kalideres sering kali melumpuhkan pelayanan, mengakibatkan pemendekan rute hanya sampai Halte Pesakih, hingga menyebabkan pembatalan layanan secara mendadak.

Situasi operasional tersebut kini mencapai titik krusial seiring dengan implementasi armada bus listrik yang memiliki karakteristik teknis jauh lebih sensitif dibandingkan dengan bus konvensional. Keberadaan komponen elektrik vital pada sistem penggerak bus listrik menetapkan ambang batas keamanan yang sangat ketat terhadap kedalaman air, sehingga genangan yang melebihi batas toleransi teknis secara otomatis dapat melumpuhkan seluruh rantai operasional demi menjamin keselamatan penumpang serta integritas armada. Permasalahan ini semakin kompleks karena regulasi Standar Pelayanan Minimal (SPM) dalam Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 2 Tahun 2024 masih bersifat responsif dan belum menetapkan parameter teknis banjir yang spesifik, seperti batas ketinggian air yang diizinkan untuk operasional berbagai jenis armada. Tanpa adanya sistem pemantauan yang terintegrasi dengan data hidrologi secara *real-time*, pengambilan keputusan di lapangan cenderung bersifat reaktif dan tidak prediktif. Oleh karena itu, perumusan strategi manajemen risiko yang adaptif melalui pemetaan spasial dan evaluasi kebijakan menjadi kebutuhan mendesak untuk menjaga keandalan dan keberlanjutan transportasi publik Jakarta di masa depan.

Kajian Teori: Banjir di Jalan Daan Mogot

Salah satu masalah utama sistem drainase perkotaan adalah banjir yang sering terjadi di kota-kota besar, termasuk di Jalan Daan Mogot. Kawasan ini berfungsi sebagai jalur transportasi penting yang menghubungkan daerah Jakarta Barat dengan pusat kota dan wilayah penyangga seperti Tangerang. Angka banjir memengaruhi mobilitas, ekonomi, dan operasional transportasi umum seperti Transjakarta karena peran strategis jalan ini dan volume lalu lintas yang tinggi.

Menurut konsep hidrologi perkotaan, banjir perkotaan dapat disebabkan oleh beberapa faktor utama, termasuk curah hujan yang tinggi, perubahan tata guna lahan, kapasitas drainase yang terbatas, dan hambatan aliran air. Secara teoritis, ketidakseimbangan antara volume air hujan yang masuk dan kapasitas sistem drainase yang tersedia menyebabkan banjir perkotaan. Kondisi genangan di Jalan Daan Mogot diperparah oleh kombinasi faktor-faktor tersebut.

Tingginya curah hujan, terutama selama musim hujan, adalah salah satu penyebab utama banjir di wilayah ini. Curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan limpasan permukaan secara signifikan dalam waktu singkat. Dalam keadaan normal, sebagian besar permukaan tanah di kawasan perkotaan seperti Jalan Daan Mogot ditutup oleh perkerasan seperti aspal dan beton, yang mengurangi kemampuan infiltrasi dan meningkatkan limpasan permukaan.

Banjir sangat dipengaruhi oleh tata guna lahan yang berubah. Proses urbanisasi yang cepat di daerah sekitar Jalan Daan Mogot menyebabkan area resapan air yang lebih kecil dan peningkatan pembangunan infrastruktur. Karena sebagian besar air hujan langsung mengalir ke saluran drainase tanpa melalui proses infiltrasi, koefisien limpasan meningkat. Akibatnya, sistem drainase yang ada sering kali tidak dapat menampung debit air yang meningkat secara tiba-tiba. Banjir juga dipengaruhi

oleh kapasitas dan kondisi sistem drainase di sepanjang Jalan Daan Mogot. Dalam dunia nyata, banyak saluran drainase mengalami penyempitan, sedimentasi, atau tersumbat oleh sampah. Namun, secara teoritis, sistem drainase harus dirancang berdasarkan debit rencana yang dihitung menggunakan metode hidrologi seperti metode rasional. Kondisi ini menyebabkan aliran menjadi lebih sedikit dan air meluap ke badan jalan.

Genangan di daerah ini juga dipengaruhi oleh topografi. Jalan Daan Mogot memiliki beberapa lokasi di mana air cenderung mengalir dan terkumpul. Menurut analisis teknik sipil, daerah dengan elevasi rendah memiliki risiko genangan yang lebih tinggi. Genangan dapat bertahan lama jika sistem pompa atau saluran pembuangan tidak memadai. Analisis kerawanan banjir dilakukan menggunakan enam parameter, yaitu tutupan lahan, curah hujan, kepadatan drainase, kemiringan lereng, penurunan muka tanah, dan kenaikan muka air laut.(Ikhsan Muhammad, 2025)

Selain faktor fisik, kondisi banjir juga dipengaruhi oleh keberadaan sungai atau saluran utama di sekitar area tersebut. Aliran balik, juga dikenal sebagai efek backwater, dapat terjadi ketika hujan membuat debit sungai atau saluran utama meningkat di daerah hulu. Efek backwater menghambat aliran air dari drainase lokal ke saluran utama, yang dapat menyebabkan air meluap ke permukaan jalan.

Dari perspektif transportasi, banjir di Jalan Daan Mogot memengaruhi kinerja jaringan jalan secara signifikan. Genangan air dapat menurunkan kecepatan kendaraan, meningkatkan waktu tempuh, dan meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas. Selain itu, operasi angkutan umum seperti bus Transjakarta mengalami masalah dari segi waktu dan keselamatan penumpang. Banjir bahkan dapat menghentikan layanan transportasi sementara dalam situasi tertentu.

Penanganan banjir di Jalan Daan Mogot membutuhkan pendekatan yang terintegrasi yang mencakup peningkatan kapasitas drainase, normalisasi saluran, pengelolaan sampah, dan pembangunan infrastruktur pendukung seperti pompa air dan kolam retensi. Selain itu, sistem drainase kota yang berkelanjutan, yang meningkatkan kapasitas infiltrasi dan mengurangi limpasan permukaan, juga dapat menjadi solusi jangka panjang.

Secara keseluruhan, banjir di Jalan Daan Mogot adalah akibat dari hubungan yang kompleks antara variabel hidrologi, kondisi infrastruktur, dan tindakan manusia. Oleh karena itu, untuk menanganinya, tidak hanya diperlukan pendekatan teknis, tetapi juga partisipasi kebijakan dan masyarakat. Kajian teori ini menjadi dasar penting untuk memahami secara menyeluruh masalah banjir dan menemukan solusi yang efisien dan berkelanjutan.

Dibandingkan dengan bus konvensional berbahan bakar fosil, bus listrik memiliki sistem kelistrikan yang sensitif terhadap air. Ini terutama berlaku untuk komponen seperti motor listrik, baterai, dan sistem kontrol elektronik, yang menjadikannya sensitif terhadap banjir. Meskipun sebagian besar bus listrik memiliki standar perlindungan tertentu, seperti membuatnya tahan air hingga batas ketinggian tertentu, genangan yang melebihi batas tersebut dapat menyebabkan kerusakan komponen dan masalah yang mengganggu operasional.

Selain itu, genangan air dapat berdampak pada efisiensi energi bus listrik. Dalam kondisi jalan tergenang, hambatan gerak kendaraan meningkat karena gaya tahanan air (*hydrodynamic resistance*) yang membutuhkan lebih banyak daya untuk mempertahankan kecepatan. Akibatnya, kendaraan mengonsumsi lebih banyak daya dan bus listrik memiliki jarak tempuh yang lebih pendek. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat berdampak pada kinerja operasional sistem transportasi dan biaya operasional.

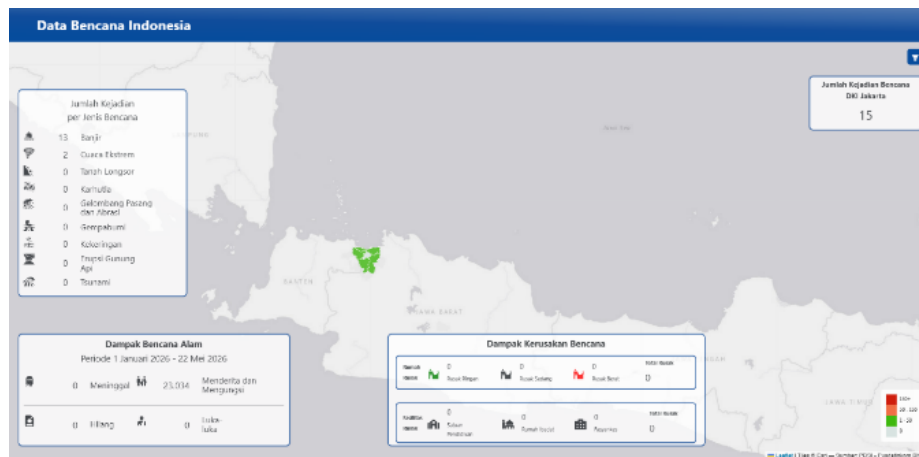
Banjir meningkatkan risiko kecelakaan pada operasional bus listrik dari perspektif keselamatan. Genangan air dapat menutupi permukaan jalan, termasuk lubang atau kerusakan yang tidak terlihat oleh pengemudi. Selain itu, kondisi jalan yang licin karena genangan juga dapat menurunkan daya cengkraman ban dan meningkatkan risiko tergelincir. Meskipun teknologi modern memiliki sistem pengaman, risiko tambahan terkait kemungkinan gangguan sistem kelistrikan juga perlu dipertimbangkan dalam konteks

Dari sudut pandang teknik sipil, masalah ini menunjukkan betapa pentingnya menggabungkan perencanaan transportasi dan sistem drainase perkotaan. Infrastruktur jalan yang dilalui oleh bus listrik harus dirancang dengan mempertimbangkan risiko banjir, terutama di koridor utama seperti Jalan Daan Mogot. Ini termasuk meningkatkan kapasitas saluran drainase, membangun sistem pompa, dan menerapkan pendekatan drainase berkelanjutan yang dapat mengurangi limpasan permukaan.

Peningkatan spesifikasi teknis bus listrik agar lebih tahan terhadap kondisi genangan adalah cara lain untuk mengurangi dampak. Misalnya, dengan meningkatkan tingkat perlindungan komponen kelistrikan terhadap air dan merancang sistem yang dapat berfungsi dalam kondisi lingkungan yang lebih ekstrem. Selain itu, prosedur operasional standar (SOP) yang jelas diperlukan untuk menangani kondisi banjir. SOP ini harus mencakup batas ketinggian genangan aman yang dapat dilalui oleh bus. Secara keseluruhan, banjir di Jalan Daan Mogot tidak hanya merupakan permasalahan hidrologi, tetapi juga berdampak signifikan terhadap sistem transportasi, khususnya operasional bus listrik dan Transjakarta. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang terintegrasi antara perencanaan infrastruktur, teknologi kendaraan, serta manajemen operasional untuk memastikan sistem transportasi tetap berjalan secara efisien dan aman dalam kondisi banjir. Kajian ini menjadi dasar penting dalam pengembangan strategi mitigasi yang berkelanjutan serta peningkatan ketahanan sistem transportasi perkotaan terhadap bencana hidrometeorologi.

Tahapan Analisis Spasial Analisis

Jurnal Rekayasa Infrastruktur, Informatika dan Komputasi



Gambar 2. Peta klasifikasi risiko

Sumber: (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2026b)

Analisis Spasial dan Kebijakan

Studi ini menerapkan pendekatan kuantitatif deskriptif yang mengintegrasikan pengolahan data geospasial dengan evaluasi komprehensif terhadap kebijakan transportasi publik. Prosedur metodologi dimulai dengan pemanfaatan instrumen Sistem Informasi Geografis (GIS) untuk melakukan teknik *overlay* antara data spasial sebaran banjir dari BPBD DKI Jakarta dengan peta jaringan operasional Koridor 3 Transjakarta. Analisis berbasis komputasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi titik-titik kritis di sepanjang rute Daan Mogot yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap disrupti layanan. Langkah selanjutnya mencakup tinjauan mendalam terhadap dokumen regulasi Standar Pelayanan Minimum (SPM) yang tertuang dalam Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 2 Tahun 2024 guna mendeteksi adanya kesenjangan antara kebijakan saat ini dengan kebutuhan mitigasi risiko bencana, terutama bagi armada bus listrik.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi analisis risiko berbasis komputasi dengan karakteristik teknis armada bus listrik yang memiliki ambang batas keamanan sistem elektrikal jauh lebih ketat dibandingkan bus konvensional. Berbeda dengan kajian manajemen risiko transportasi umum secara umum, studi ini secara spesifik mendeteksi kesenjangan parameter teknis banjir dalam regulasi SPM terbaru guna merumuskan strategi mitigasi yang lebih prediktif bagi ekosistem infrastruktur transportasi cerdas.

Adapun batasan dalam studi ini difokuskan pada analisis spasial dan evaluasi dampak operasional di sepanjang Koridor 3 Transjakarta (Daan Mogot) sebagai rute vital yang sangat rentan terhadap gangguan hidrometeorologi. Analisis kebijakan dibatasi pada penelaahan Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 2 Tahun 2024 dengan dukungan penggunaan data sekunder dari instansi terkait serta indikator *traffic index*.

Selain analisis spasial dan kebijakan, penelitian ini juga mengukur dampak teknis melalui komparasi data waktu tempuh operasional pada kondisi normal dibandingkan dengan periode terjadinya gangguan banjir. Evaluasi kinerja ini didukung oleh penggunaan indikator *traffic index* untuk menganalisis frekuensi gangguan serta penurunan tingkat pelayanan (*level of service*) yang terjadi secara historis. Seluruh data yang dikumpulkan, baik berupa dokumen regulasi maupun data spasial, disintesis untuk merumuskan rekomendasi strategi manajemen risiko yang lebih adaptif. Hasil integrasi antara pemetaan spasial dan evaluasi kebijakan ini diarahkan untuk memberikan rekomendasi teknis dalam pengembangan infrastruktur transportasi cerdas (*smart infrastructure*) yang tangguh menghadapi risiko banjir.

Variabel Penelitian

Dua kelompok utama variabel penelitian adalah variabel risiko banjir dan variabel operasional. Variabel risiko banjir menunjukkan tingkat kerawanan banjir yang dapat memengaruhi operasional transportasi. Elevasi wilayah yang diukur dalam meter di atas permukaan laut (mdpl), frekuensi banjir yang diwakili sebagai jumlah kejadian per tahun, curah hujan yang diukur dalam milimeter (mm), dan kedalaman genangan yang diukur dalam satuan sentimeter (cm).

Untuk saat ini, dampak banjir terhadap pelayanan transportasi diukur melalui variabel operasional. Ada beberapa variabel operasional: gangguan rute yang ditunjukkan dalam kategori ya atau tidak; keterlambatan operasional yang diukur dalam satuan menit; penutupan halte yang ditunjukkan dengan jumlah halte yang ditutup; dan pengalihan rute yang diukur dengan jumlah kejadian pengalihan rute akibat banjir.

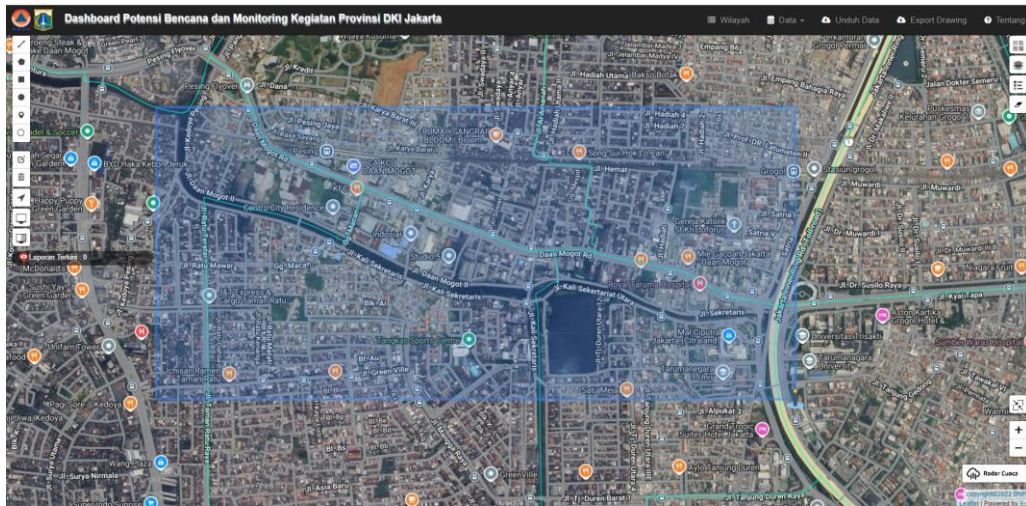
Tahapan Penelitian

Dimulai dengan pengumpulan data, penelitian ini mengumpulkan data tentang frekuensi banjir, kedalaman genangan, curah hujan, elevasi wilayah, dan operasional transportasi. Sebelum diproses lebih lanjut, data diproses melalui tahap preprocessing GIS untuk memastikan format, sistem koordinat, dan kelengkapan data spasial sesuai. Setelah tahap preprocessing, analisis overlay dilakukan untuk menggabungkan berbagai parameter risiko banjir untuk menghasilkan peta tingkat kerawanan banjir di wilayah penelitian. Selain itu, analisis buffer dilakukan untuk mengidentifikasi wilayah yang terdampak banjir terhadap jalur dan halte transportasi. Selanjutnya, hasil analisis tersebut digunakan untuk menentukan tingkat risiko pada setiap wilayah atau rute transportasi. Pada langkah terakhir, interpretasi spasial dilakukan. Ini berarti memeriksa hasil pemetaan dan mengamati bagaimana risiko banjir berdampak pada operasional transportasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Spasial Titik Kritis Banjir Koridor Daan Mogot

Hasil pengolahan data spasial melalui teknik *overlay* menggunakan instrumen GIS menunjukkan bahwa sepanjang Koridor Daan Mogot terdapat sebaran titik kritis banjir dengan tingkat kerentanan yang bervariasi. Berdasarkan parameter elevasi, kemiringan lereng, serta kondisi drainase eksisting, wilayah Kalideres, Cengkareng, dan Pesing teridentifikasi sebagai zona prioritas tinggi dengan potensi genangan yang paling destruktif bagi layanan transportasi. Karakteristik wilayah tersebut yang memiliki elevasi rendah (antara 5 hingga 9 mdpl) serta sistem drainase yang buruk mengakibatkan akumulasi air mencapai kedalaman antara 30 hingga 60 sentimeter saat terjadi curah hujan ekstrem. Penentuan titik-titik kritis ini didasarkan pada analisis variabel biofisik lahan dan data historis gangguan layanan guna memberikan gambaran komprehensif mengenai zona prioritas mitigasi, sebagaimana rincian data teknis yang disajikan dalam Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 3. Titik Kritis Lokasi Koridor 3

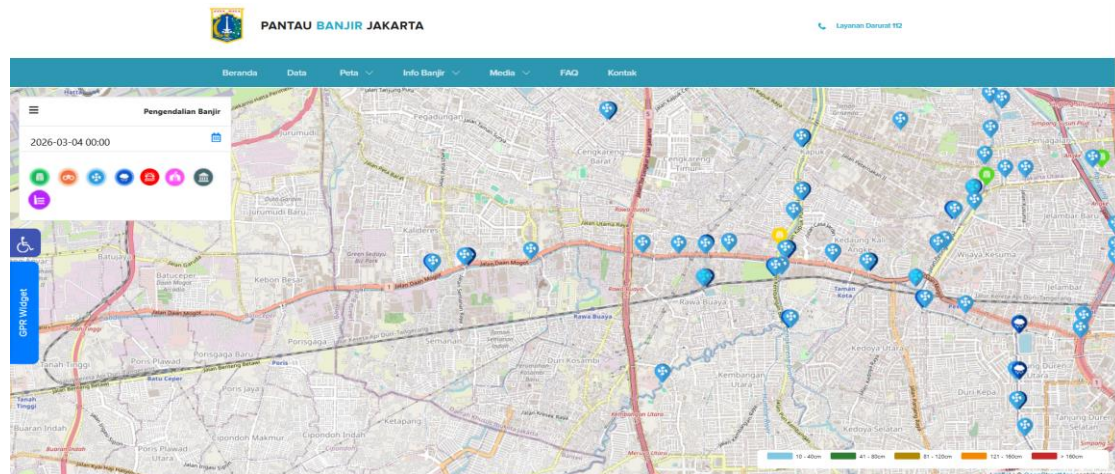
Sumber: (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2026a)

Table 1. Kategori Kerentanan Segmen Koridor

Segmen	Lokasi Umum	Elevasi (mdpl)	Slope (%)	Jenis Lahan	Kondisi Drainase	Potensi Genangan	Kedalaman Banjir (cm)	Dampak pada Transjakarta	Kategori Kerentanan
1	Kalideres	5–7	<1	Permukiman padat	Buruk (saluran sempit)	Sangat tinggi	30–60	Rute diperpendek / berhenti	Tinggi
2	Cengkareng Barat	6–8	<1.5	Permukiman + komersial	Sedang	Tinggi	20–50	Keterlambatan, headway terganggu	Tinggi
3	Cengkareng Timur	7–10	<2	Komersial	Sedang–buruk	Tinggi	15–30	Perlambatan operasional	Sedang–tinggi
4	Rawa Buaya	8–12	<2	Campuran	Sedang	Sedang	10–20	Gangguan ringan	Sedang
5	Pesing	6–9	<1.5	Permukiman padat	Buruk	Tinggi	20–40	Rerouting dan antrean panjang	Tinggi
6	Grogol	10–15	1–2	Perkotaan padat	Sedang	Sedang	10–25	Penurunan kecepatan	Sedang

Sumber: DEM SRTM, BPBD DKI, OSM, BMKG, BIG (2025)

Data pada Tabel 1 menegaskan bahwa Segmen 1 Kalideres dan Segmen 5 Pesing memiliki tingkat risiko operasional tertinggi karena berada pada zona elevasi rendah (<7 mdpl) dengan frekuensi genangan tinggi. Kondisi ini menyebabkan gangguan operasional berupa perlambatan perjalanan, peningkatan *headway*, serta pengalihan rute sementara pada layanan koridor 3. Sebaran spasial genangan air tersebut mencakup wilayah permukiman padat dan jalur arteri utama, yang secara visual menunjukkan konsentrasi titik-titik rawan genangan pada peta informasi banjir Gambar 2.

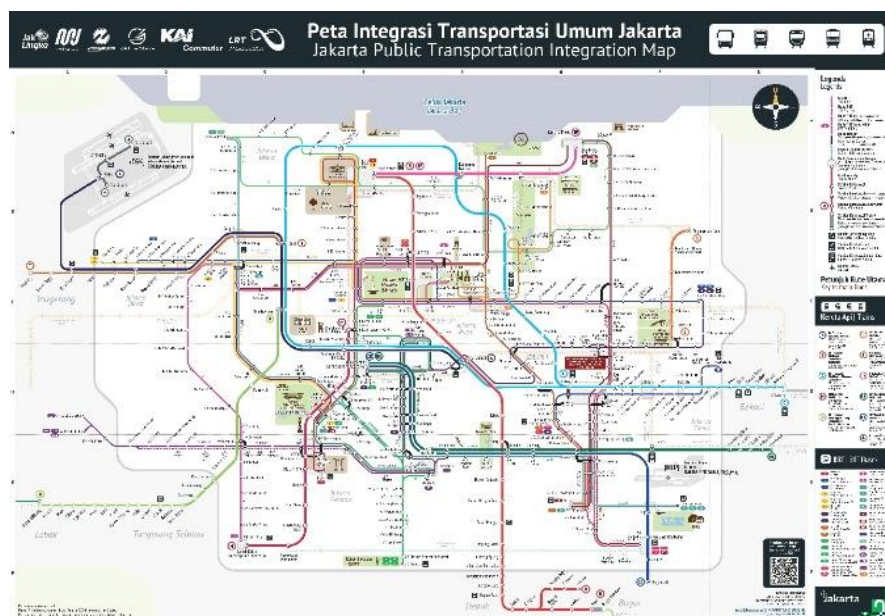


Gambar 4. Data Penyebaran Banjir

Sumber: (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, 2026)

Analisis lebih mendalam terhadap data wilayah terdampak menunjukkan bahwa di Jakarta Barat terdapat 47 RT yang mengalami gangguan signifikan, di mana Kelurahan Rawa Buaya mencatat sebanyak 8 RT dengan ketinggian air ekstrem hingga 120 cm. Sementara di Kelurahan Kedoya Selatan terdapat 4 RT yang terdampak luapan Kali Pesanggrahan dengan ketinggian mencapai 75 cm. Kondisi ini secara teknis melumpuhkan mobilitas karena ketinggian air telah melampaui ambang batas aman operasional, terutama bagi armada bus listrik yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap paparan air pada komponen sistem penggerak elektrik.(Prayogi & Edwin Dwi Putranto, 2026)

Integrasi data spasial tersebut kemudian dipadukan dengan jaringan layanan Transjakarta guna memetakan interaksi antara risiko bencana dan jalur transportasi publik. Koridor 3 yang merupakan urat nadi mobilitas 24 jam menghadapi tantangan berat karena rutenya melewati kawasan industri dan perumahan padat yang sering kali terisolasi saat banjir melanda, seperti yang terlihat pada rute operasional dan sebaran halte strategis di Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 5. Peta Rute Transjakarta

Sumber:(Transjakarta, 2026)



Gambar 6. Peta Rute Transjakarta Koridor 3
Sumber: (Transjakarta, 2026)

Data jaringan TransJakarta dengan detail utama Koridor Daan Mogot yaitu Rute Utama Koridor 3 (Kalideres - Monas) yang akan menghubungkan Kalideres (Tangerang) dengan pusat kota Jakarta (Monas). Koridor 3 merupakan salah satu jalur yang beroperasi 24 jam (AMARI) yang dilintasi oleh Halte Utama, yaitu Kalideres, Pesakih, Sumur Bor, Rawa Buaya, Jembatan Baru, Pulo Nangka, Jembatan Gantung, Taman Kota. Karakteristik sepanjang rute yaitu kawasan padat dengan aktivitas industri, pergudangan, dan perumahan. Jalan ini sering mengalami kemacetan dan genangan, sehingga direncanakan pembangunan flyover oleh Pemprov DKI.

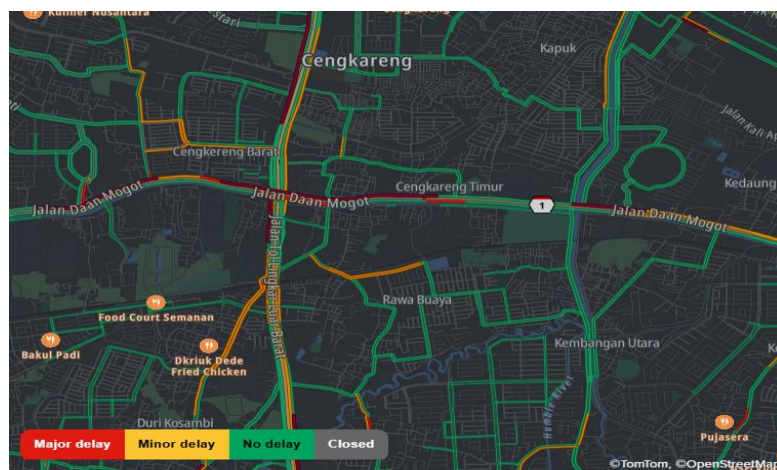
Analisis terhadap peta rute tersebut menunjukkan bahwa keterbatasan jalur alternatif di sepanjang Jalan Daan Mogot menyebabkan lumpuhnya aksesibilitas saat titik-titik kritis tergenang air. Implementasi bus listrik dengan sensitivitas tinggi terhadap paparan air semakin mempertegas urgensi penggunaan sistem informasi yang presisi dalam memitigasi risiko operasional. Melalui pemetaan spasial ini, terlihat jelas bahwa sinkronisasi antara data hidrologi dan manajemen layanan merupakan langkah esensial untuk menjaga reliabilitas sistem transportasi cerdas di Jakarta. (Alif Bais Khoiriyah, 2025)

Dampak dari genangan pada titik-titik kritis tersebut mengakibatkan disruption layanan yang signifikan, di mana pengelola transportasi terpaksa melakukan penyesuaian operasional secara mendadak. Lebih lanjut, kondisi ini secara teknis melumpuhkan mobilitas karena ketinggian air telah melampaui ambang batas aman operasional, terutama bagi armada bus listrik yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap paparan air pada komponen sistem penggerak elektrik. Fenomena ini tercermin pada data keterlambatan perjalanan yang menunjukkan peningkatan waktu tempuh hingga melebihi 30%

akibat antrean panjang dan perlambatan laju kendaraan di area terdampak. Selain itu, keterbatasan jalur alternatif di sepanjang Jalan Daan Mogot memaksa dilakukannya pengalihan rute melalui jalan tol atau bahkan pemendekan rute layanan yang hanya menjangkau Halte Pesakih, sehingga aksesibilitas pengguna di Halte Rawa Buaya dan Jembatan Baru menjadi terputus. Penurunan tingkat pelayanan (*Level of Service*) ini secara langsung mereduksi reliabilitas sistem Transjakarta dan berdampak pada penurunan kepuasan pelanggan, yang menegaskan bahwa perlunya strategi manajemen risiko berbasis data spasial yang lebih preventif.

Evaluasi Dampak Banjir terhadap Kinerja Operasional

Bencana banjir yang melanda Koridor Daan Mogot memberikan dampak destruktif yang signifikan terhadap stabilitas operasional layanan Transjakarta Koridor 3. Berdasarkan analisis data historis dan *Traffic Index*, terdapat indikator gangguan perjalanan yang ditandai dengan munculnya zona merah pada peta digital yang merepresentasikan keterlambatan perjalanan ekstrem akibat tingginya kepadatan lalu lintas. Fenomena ini secara kuantitatif menyebabkan peningkatan waktu tempuh perjalanan hingga melebihi 30% dari kondisi normal, yang dipicu oleh penurunan kecepatan kendaraan secara drastis di area terdampak genangan. Disrupsi operasional ini divalidasi melalui instrumen komputasi *TomTom Traffic Index* yang menunjukkan bahwa penurunan efisiensi perjalanan berkorelasi dengan akumulasi genangan di segmen-segmen kritis, yang secara sistematis mereduksi kapasitas jalan hingga titik jenuh yang terekam dalam visualisasi indeks lalu lintas pada Gambar 5.



Gambar 7. Traffic Index

Sumber: (TomTom, 2026)

Visualisasi pada Gambar 5 memvalidasi bahwa Jalan Daan Mogot adalah salah satu koridor utama yang memainkan peran penting dalam mendukung mobilitas kendaraan di wilayah Jakarta dan sekitarnya. Jalur penghubung strategis ini memfasilitasi mobilitas masyarakat untuk berbagai tujuan, namun intensitas kendaraan yang tinggi menyebabkan jalur ini sangat rentan terhadap kemacetan, terutama pada saat jam sibuk (*peak hour*). Kondisi ini diperparah saat banjir melanda, di mana indikator warna merah pada peta digital menunjukkan bahwa kepadatan lalu lintas telah melampaui ambang batas toleransi kecepatan kendaraan, sehingga secara drastis mereduksi produktivitas layanan transportasi publik.

Ketangguhan sistem BRT di rute ini semakin teruji ketika ketinggian genangan mencapai ambang batas antara 20 dan 60 sentimeter, yang memaksa pengelola melakukan pengalihan rute secara mendadak demi menjamin keselamatan penumpang dan armada. Implementasi kebijakan darurat ini

meliputi pengalihan bus dari arah Kalideres melalui jalur tol atau pembatasan layanan yang hanya menjangkau Halte Pesakih sebagai titik akhir sementara. Konsekuensinya, beberapa halte strategis seperti Rawa Buaya, Jembatan Baru, Disependa, dan kawasan sekitar Taman Kota terpaksa ditutup dan tidak melayani pelanggan selama durasi banjir berlangsung.

Penutupan halte-halte di wilayah padat industri dan permukiman ini mengakibatkan keterputusan aksesibilitas yang signifikan, yang pada akhirnya mereduksi fungsi Transjakarta sebagai tulang punggung mobilitas perkotaan dan menurunkan indeks kepuasan pelanggan secara keseluruhan. Secara teknis, genangan air yang berulang juga mempercepat kerusakan pada struktur *flexible pavement* di jalur BRT serta memicu korosi pada komponen fisik halte dan sistem kelistrikan yang vital bagi operasional armada bus listrik. Fenomena ini menunjukkan bahwa manajemen operasional saat ini masih bergantung pada tindakan responsif, sehingga diperlukan transformasi menuju sistem transportasi cerdas yang mampu memprediksi gangguan melalui integrasi data hidrologi secara *real-time*.

Analisis terhadap sensitivitas teknis armada bus listrik mengungkapkan bahwa risiko operasional pada Koridor Daan Mogot tidak hanya bersifat logistik, tetapi juga menyentuh aspek keamanan sistem elektrikal tingkat tinggi. Berbeda dengan bus konvensional yang memiliki toleransi genangan lebih tinggi pada komponen mesin pembakaran internal, armada bus listrik dilengkapi dengan paket baterai dan sistem kontrol daya yang memiliki ambang batas paparan air yang sangat ketat demi menjaga integritas sistem penggerak. Secara teknis, armada bus listrik Transjakarta umumnya menggunakan komponen dengan standar IP67, yang secara teoritis mampu menahan rendaman air hingga kedalaman 1.000 mm selama 30 menit. Namun, dalam kondisi dinamis (bus bergerak), pergerakan air dapat menciptakan tekanan hidrostatik yang lebih besar pada seal pelindung dan konektor tegangan tinggi. Ketika kedalaman genangan mencapai 30 hingga 60 sentimeter di titik kritis, sistem sensor pada armada dapat mendeteksi adanya risiko kegagalan isolasi yang berpotensi memicu korsleting atau kerusakan permanen pada modul baterai. Batas 30–60 cm ini menjadi sangat kritis karena pada beberapa tipe bus, posisi kompartemen baterai dan sistem pendingin berada di bagian bawah sasis, sehingga genangan di atas 300 mm sudah mulai menyentuh area sensitif yang dapat memicu sistem keamanan untuk memutus aliran listrik secara otomatis (*auto-shutdown*). Oleh karena itu, data spasial yang dihasilkan melalui GIS berfungsi sebagai instrumen kritis untuk menentukan batas operasional yang presisi, sehingga pengelola dapat melakukan intervensi sebelum armada memasuki zona yang secara teknis melampaui batas toleransi keamanan elektrikalnya.

Terdapat implikasi operasional bahwa genangan 30–60 cm menyebabkan bus melambat. Hal-hal yang terdampak menyebabkan penurunan aksesibilitas. Serta sistem drainase yang kurang baik memiliki dampak *headway* meningkat.

Analisis Kesenjangan Regulasi SPM dalam Perspektif Mitigasi Risiko

Evaluasi terhadap regulasi Standar Pelayanan Minimal (SPM) yang tertuang dalam Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 2 Tahun 2024 menunjukkan bahwa kerangka hukum saat ini telah mengakomodasi prinsip-prinsip dasar pelayanan publik dalam kondisi darurat. Meskipun pasal mengenai *force majeure* telah memberikan legitimasi bagi operator untuk melakukan penyesuaian layanan seperti pengalihan rute dan penghentian operasional sementara, aturan tersebut masih memiliki keterbatasan fundamental dalam aspek teknis operasional. Kesenjangan utama yang teridentifikasi adalah ketiadaan parameter teknis banjir yang spesifik, seperti ambang batas ketinggian genangan air yang diizinkan bagi berbagai jenis armada, kecepatan aliran aman, serta durasi genangan yang dapat ditoleransi sebelum layanan diputuskan untuk dihentikan sepenuhnya. Kesenjangan ini menjadi sangat kontras jika dibandingkan dengan kota-kota besar di Tiongkok dan Eropa yang telah mengadopsi bus listrik secara masif, di mana SOP operasional mereka sudah mencakup parameter teknis yang sangat

presisi sesuai dengan spesifikasi manufaktur baterai (seperti IP67 atau IP68). Di wilayah tersebut, regulasi tidak hanya bersifat administratif tetapi juga teknis-preventif, yang secara otomatis melarang operasional bus jika sensor pada jalur atau halte mendeteksi ketinggian air yang mendekati ambang batas sasis bawah. Ketiadaan standar kuantitatif ini menciptakan ambiguitas dalam prosedur operasional standar (SOP) di lapangan yang berpotensi membahayakan aset infrastruktur digital dan komponen mekanikal pada armada modern (Gubernur Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta, 2024)

Kelemahan regulasi ini berdampak langsung pada ketidakpastian pengambilan keputusan di lapangan, terutama seiring dengan introduksi armada bus listrik yang memiliki karakteristik keamanan sistem elektrik yang jauh lebih ketat dibandingkan dengan bus konvensional. Dibandingkan dengan standar internasional yang mengintegrasikan data manajemen bencana dengan manajemen transportasi, penanganan gangguan yang ada saat ini cenderung bersifat reaktif yang dilakukan setelah banjir terjadi dan belum terintegrasi dengan sistem peringatan dini (*early warning system*) berbasis data hidrologi maupun pemodelan prediksi genangan secara *real-time*. Hal ini menunjukkan adanya diskoneksi antara regulasi administratif dengan kebutuhan teknologi transportasi cerdas yang menuntut integrasi data komputasi untuk mitigasi risiko yang lebih presisi. Penerapan kebijakan berbasis data (*data-driven policy*) seperti yang dilakukan di negara maju seharusnya menjadi acuan, di mana setiap unit bus memiliki otorisasi otomatis untuk berhenti atau beralih rute berdasarkan input data spasial dan hidrologi yang diterima oleh sistem kendali pusat secara instan.

Selain itu, SPM yang berlaku belum menyentuh aspek integrasi infrastruktur transportasi dengan sistem drainase berkelanjutan serta desain halte yang tahan terhadap risiko banjir. Tanpa adanya klausul yang mengatur batas operasional berbasis risiko serta kewajiban penyediaan informasi gangguan secara digital dan presisi kepada penumpang, reliabilitas Transjakarta sebagai tulang punggung mobilitas cerdas (*smart mobility*) di Jakarta akan sulit dipertahankan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim yang kian ekstrem. Transformasi regulasi menuju kebijakan berbasis data menjadi langkah krusial agar standar pelayanan tetap relevan dengan adopsi teknologi ramah lingkungan dan digitalisasi konstruksi di masa depan.

Implikasi Digitalisasi Konstruksi dan Digital Twin

Temuan dalam penelitian ini memberikan implikasi luas terhadap strategi digitalisasi konstruksi di lingkungan transportasi publik. Pemanfaatan data *traffic index* dan pemetaan spasial merupakan langkah awal menuju pengembangan teknologi *Digital Twin* untuk infrastruktur transportasi, di mana pengelola dapat mensimulasikan dampak banjir terhadap aliran lalu lintas secara virtual sebelum kejadian tersebut berlangsung. Dengan mengintegrasikan algoritma komputasi cerdas, sistem manajemen risiko dapat bertransformasi dari pendekatan normatif-responsif menuju strategi mitigasi yang berbasis pada analisis risiko berbasis komputasi. Hal ini memungkinkan adanya sinkronisasi antara data hidrologi BPBD dengan sistem kendali pusat Transjakarta, sehingga penyusunan rute alternatif atau modifikasi layanan dapat dilakukan secara otomatis melalui sistem pendukung keputusan (*decision support system*) yang terintegrasi. Integrasi teknologi digital ini menjadi kunci esensial dalam mewujudkan tata kelola transportasi massal yang tangguh dan adaptif menghadapi kompleksitas tantangan iklim di masa depan.

PENUTUP

Penelitian ini menyimpulkan bahwa kerentanan hidrometeorologi di sepanjang Koridor Daan Mogot berdampak signifikan terhadap degradasi performa operasional Transjakarta, di mana identifikasi titik kritis melalui analisis spasial menunjukkan adanya disrupsi yang melampaui ambang batas

keamanan teknis armada bus listrik. Ketidaksiapan regulasi Standar Pelayanan Minimal (SPM) dalam mengantisipasi variabel risiko banjir menjadi celah utama yang mengakibatkan pengambilan keputusan di lapangan cenderung bersifat reaktif dan tidak terukur. Hasil kajian ini menegaskan bahwa perwujudan ketahanan transportasi publik di kawasan megapolitan Jakarta tidak hanya bergantung pada rekayasa fisik jalan, tetapi sangat ditentukan oleh integrasi sistem informasi yang mampu memetakan risiko secara presisi untuk menjamin reliabilitas layanan di masa depan. Sinergi antara data spasial dan parameter teknis armada modern menjadi fondasi utama dalam mentransformasi manajemen krisis menjadi strategi mitigasi yang prediktif.

Sebagai langkah strategis dalam memperkuat manajemen risiko bencana, penelitian ini merekomendasikan transformasi kebijakan melalui penambahan klausul teknis operasional yang spesifik bagi armada bus listrik serta penyusunan protokol pengalihan rute berbasis data spasial yang terintegrasi. Implementasi platform digital pemantauan banjir secara *real-time* menjadi kebutuhan mendesak guna menyediakan informasi gangguan yang akurat bagi pengguna sekaligus sebagai instrumen pendukung keputusan bagi operator. Integrasi data hidrologi secara otomatis ke dalam sistem kendali operasional dapat mereduksi waktu respons terhadap gangguan secara signifikan.

Pengembangan penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengeksplorasi penggunaan algoritma sistem transportasi cerdas (*smart infrastructure*) yang tangguh dan adaptif yang dapat terwujud secara optimal di seluruh jaringan transportasi massal perkotaan. Kajian yang akan datang juga disarankan untuk mengintegrasikan teknologi *digital twin* guna mensimulasikan dampak bencana terhadap infrastruktur transportasi secara virtual sebelum kebijakan fisik diimplementasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alif Bais Khoiriyah. (2025, January 23). TransJakarta memperbarui rute operasional demi kenyamanan penumpang saat banjir.
- Alya Nur Zhafira. (2025). *Pemetaan Kerawanan Banjir di Wilayah JABODETABEK menggunakan Sistem Informasi Geografis*. 10, 1–7.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2026a). BNPB. Retrieved May 22, 2026, from https://inarisk.bnpb.go.id/dashboard_jakarta/
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2026b, May 11). Peta klasifikasi risiko. Retrieved May 22, 2026, from <https://gis.bnpb.go.id/dev/map/>
- Bhumi ATR/BPN. (2026, May 22). Peta Overlay. Retrieved May 22, 2026, from <https://bhumi.atrbpn.go.id/peta>
- Gubernur Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta. (2024). Peraturan Gubernur Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta. *Peraturan Gubernur Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta Nomor 2 Tahun 2024 Tentang Standar Pelayanan Minimal Layanan Angkutan Umum Transjakarta*, 1–112.
- Ikhlas Nur Muhammad, dkk. (2025). *Spatial Analysis of Urban Flood Vulnerability Using Weighted Overlay Technique for Identification of Hazard Zones in Greater Jakarta*. 23, 1–16.
- Ikhsan Muhammad. (2025). Flood Vulnerability Using Multi-Criteria Analysis in West Jakarta. *Flood Vulnerability Using Multi-Criteria Analysis in West Jakarta*, 9, 1–8.
- Imma Widyawati Agustin. (2024). Prioritas Peningkatan Kinerja Bus Listrik Metrotrans Rute 7A Kampung Rambutan – Lebak Bulus Jakarta. *Prioritas Peningkatan Kinerja Bus Listrik Metrotrans Rute 7A Kampung Rambutan – Lebak Bulus Jakarta*, 1 (Nomor 1), 1–17.
- Kasus, S., Jogja, T., Rismana, A., Budiarto, R., & Harto, A. W. (n.d.). Analisis Energi dan Emisi CO2 Rencana Bus Listrik di Yogyakarta. *Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst)*, 11(1), 2019.

- Kiparisov, P., Lagutov, V., & Pflug, G. (2023). Quantification of Loss of Access to Critical Services during Floods in Greater Jakarta: Integrating Social, Geospatial, and Network Perspectives. *Remote Sensing*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/rs15215250>
- Manzoli, J. A., Trovão, J. P., & Antunes, C. H. (2022, May 1). A review of *electric bus* vehicles research topics – Methods and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 159. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112211>
- Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. (2026). Pantau Banjir Jakarta. Retrieved May 22, 2026, from <https://pantaubanjir.jakarta.go.id/peta-informasi-banjir>
- Prayogi, & Edwin Dwi Putranto. (2026, December 23). Jalan Daan Mogot masih terendam banjir. TransJakarta berhenti beroperasi sementara.
- TomTom. (2026). Traffic Index. Retrieved May 22, 2026, from <https://bhumi.atrbpn.go.id/peta>
- Transjakarta. (2026, May 22). Peta Rute Halte Transjakarta. Retrieved May 22, 2026, from <https://transjakarta.co.id/rute>
- Yunia Adini, R., & Permana, T. (2025). Analysis of The Performance Efficiency Of The Electric Shuttle Bus Drive System Resulting From Conversion. *JMM: Journal of Mechanical and Manufacturing*, 5(1), 33–43. <https://doi.org/10.31949/jmm.v5i1.176>