

Analisis Risiko Keselamatan Operasional Bus Trans Jogja Menggunakan Integrasi FMEA dan *Root Cause Analysis*

Sandy Indra Kapotha¹, Siti Shofiah², Rifano³, Nanang Okta Widiandaru⁴

^{1,3} Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Tegal, Indonesia

^{2,4} Program Studi Diploma III Teknologi Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Tegal, Indonesia
Jl. Perintis Kemerdekaan No.17, Slerok, Kec. Tegal Timur, Kota Tegal, Jawa Tengah 52125.

Email: sandyinka908@gmail.com, sitishofiah@pktj.ac.id, rifano1504@pktj.ac.id, nanang@pktj.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji risiko keselamatan operasional layanan Trans Jogja yang dikelola oleh PT AMYGY di Daerah Istimewa Yogyakarta. Pendekatan yang digunakan adalah integrasi terstruktur antara *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) dan *Root Cause Analysis* (RCA) yang diterapkan pada tiga variabel analisis: pengemudi, kendaraan, dan lingkungan operasional. Data dikumpulkan melalui kuesioner sensus terhadap 124 pengemudi, inspeksi fisik terhadap 62 kendaraan, dan observasi lapangan pada 11 rute. Hasil analisis mengidentifikasi dua belas modus kegagalan; empat di antaranya diklasifikasikan berisiko tinggi dengan $RPN \geq 200$. Nilai RPN tertinggi tercatat pada pemeliharaan oleh mekanik tidak bersertifikat ($RPN = 252$), rambu lalu lintas hilang atau terhalang di lima rute ($RPN = 240$), serta kelelahan pengemudi akibat jam kerja berlebih ($RPN = 216$). Analisis akar penyebab menunjukkan bahwa kelemahan aspek manajemen — khususnya lemahnya pengawasan, ketidakcukupan kebijakan, dan terbatasnya koordinasi antarlembaga — menjadi akar penyebab dominan di ketiga domain variabel. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan keselamatan memerlukan reformasi manajemen yang sistemik, bukan sekadar intervensi teknis individual

Kata kunci: FMEA; RCA; keselamatan bus umum; Trans Jogja; risiko operasional

ABSTRACT

This study assessed operational safety risks within the Trans Jogja bus service managed by PT AMYGY in the Special Region of Yogyakarta, Indonesia. A structured integration of Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and Root Cause Analysis (RCA) was applied across three analytical variables: driver, vehicle, and operational environment. Data were collected through a census-based questionnaire administered to 124 drivers, direct physical inspection of 62 vehicles, and systematic field observation of 11 routes. Twelve failure modes were identified; four were classified as high risk with $RPN \geq 200$. The highest RPN values were recorded for maintenance by non-certified mechanics ($RPN = 252$), missing or obscured traffic signs on five routes ($RPN = 240$), and driver fatigue due to excessive working hours ($RPN = 216$). Root cause analysis consistently identified management weaknesses — including weak supervision, inadequate policies, and limited inter-agency coordination — as the dominant root causes across all operational variables. These findings indicate that sustainable safety improvement requires systemic management reform, not merely isolated technical interventions.

Keywords: FMEA; RCA; public bus safety; Trans Jogja; operational risk

Pendahuluan

Sistem transportasi umum merupakan komponen struktural mobilitas perkotaan yang memungkinkan pergerakan massal sekaligus menekan eksternalitas negatif kendaraan pribadi [1]. Bus Rapid Transit (BRT) telah diadopsi luas di kota-kota negara berkembang sebagai solusi transit perkotaan yang terjangkau, namun frekuensi operasional tinggi dan heterogenitas tenaga kerja menghasilkan profil risiko keselamatan yang kompleks [2]. Di Indonesia, kecelakaan lalu lintas merupakan beban kesehatan masyarakat yang signifikan, dengan kendaraan transportasi umum terlibat dalam proporsi yang tidak kecil dari insiden serius [3]. Trans Jogja BRT, dioperasikan oleh PT AMYGY di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan 62 bus, 11 rute, dan 124 pengemudi berlisensi, merupakan layanan transportasi publik utama yang insiden fatalnya pada tahun 2025 menggarisbawahi urgensi evaluasi keselamatan yang sistematis.

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) adalah metodologi penilaian risiko prospektif yang memungkinkan identifikasi sistematis potensi modus kegagalan, evaluasi penyebab dan konsekuensinya, serta prioritasasi risiko berdasarkan *Risk Priority Number* (RPN) yang dihitung dari *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* [4]. *Root Cause Analysis* (RCA), khususnya melalui diagram *fishbone* (Ishikawa), melengkapi FMEA dengan menelusuri modus kegagalan ke struktur kausal yang mendasarinya [5]. Penerapan terpadu FMEA dan RCA telah divalidasi dalam manufaktur, layanan kesehatan, dan logistik sebagai kerangka efektif untuk kuantifikasi risiko [6], [7]. Penerapan metode FMEA pada layanan bus umum juga telah didemonstrasikan dalam konteks Asia, termasuk kajian layanan bus perkotaan di Bangkok yang mengidentifikasi atribut keselamatan penumpang sebagai prioritas perbaikan utama [8].

Studi yang mengkaji keselamatan bus umum di negara berkembang umumnya hanya memeriksa perilaku pengemudi secara terisolasi [9] atau kondisi teknis kendaraan tanpa keterkaitan sistematis dengan variabel lingkungan [10]. Risiko kelelahan pengemudi akibat jam kerja tidak teratur telah didokumentasikan sebagai faktor determinan keselamatan jalan yang signifikan; studi berbasis kohort menunjukkan bahwa shift tidak beraturan secara konsisten melemahkan performa mengemudi melalui gangguan ritme sirkadian dan penurunan kualitas tidur [11]. Di sisi lain, kondisi infrastruktur jalan — termasuk kelengkapan rambu dan kualitas marka jalan — merupakan komponen kritis sistem keselamatan lalu lintas yang perannya bersifat saling melengkapi dengan faktor manusia [12]. Identifikasi risiko berbasis data juga semakin berkembang; pendekatan jaringan Bayesian pada operasional bus terkini menunjukkan bahwa perilaku menyimpang pengemudi di segmen jalan tertentu merupakan prediktor utama insiden keselamatan [13].

Meskipun berbagai studi telah mengkaji aspek keselamatan bus umum secara parsial, terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan. Studi yang berfokus pada perilaku pengemudi umumnya tidak mengintegrasikan kondisi teknis kendaraan [9], sementara kajian kendaraan jarang menghubungkan temuannya secara sistematis dengan variabel lingkungan rute [10]. Di sisi lain, penelitian berbasis FMEA pada transportasi publik di Asia Tenggara mayoritas hanya menerapkan analisis pada satu domain variabel atau tidak melanjutkan identifikasi risiko ke tahap penentuan akar penyebab melalui RCA [8]. Lebih spesifik, belum terdapat penelitian yang secara simultan menerapkan integrasi FMEA dan RCA pada ketiga variabel — pengemudi, kendaraan, dan lingkungan operasional — dalam konteks sistem BRT Indonesia, sehingga hubungan kausal lintas-domain antara modus kegagalan dan defisiensi manajemen belum pernah dipetakan secara komprehensif. Studi ini mengisi kesenjangan tersebut dengan menerapkan kerangka analisis terintegrasi pada layanan Trans Jogja, menghasilkan pemetaan risiko berbasis RPN yang dapat langsung diterjemahkan menjadi prioritas intervensi manajerial.

Kontribusi akademik studi ini terletak pada tiga aspek. Pertama, studi ini mengoperasionalkan integrasi metodologis FMEA–RCA secara terstruktur pada tiga domain variabel secara simultan, suatu pendekatan yang belum pernah diterapkan pada konteks BRT Indonesia. Kedua, penggunaan RPN sebagai instrumen prioritasasi risiko memungkinkan penentuan hierarki intervensi yang objektif dan dapat direplikasi oleh operator BRT lain. Ketiga, identifikasi defisiensi manajemen sebagai akar penyebab lintas-domain memberikan kontribusi teoretis terhadap pemahaman bahwa risiko keselamatan transportasi publik pada dasarnya bersifat sistemik, bukan sekadar kumulasi kegagalan teknis individual.

Secara spesifik, studi ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi potensi modus kegagalan pada ketiga variabel tersebut; (2) menilai tingkat risiko melalui perhitungan RPN; (3) menentukan akar penyebab modus kegagalan berprioritas tinggi menggunakan RCA; dan (4) merumuskan rekomendasi pengendalian risiko berbasis bukti sesuai regulasi Indonesia.

Validitas instrumen kuesioner pengemudi dipastikan melalui validitas isi (*content validity*) yang dilakukan melalui *expert judgment* oleh dua pakar, yaitu manajer transportasi dan supervisor operasional. Penilaian dilakukan untuk mengevaluasi relevansi, kesesuaian, dan kelengkapan setiap item terhadap regulasi yang berlaku, yaitu UU No. 22 Tahun 2009 dan PM No. 98 Tahun 2013. Selain itu, uji keterbacaan dilakukan pada beberapa pengemudi di luar sampel penelitian untuk memastikan kejelasan bahasa dan kemudahan pemahaman item kuesioner.

Untuk instrumen inspeksi kendaraan, lembar periksa (*checklist*) disusun berdasarkan persyaratan teknis PP No. 55 Tahun 2012 dan digunakan sebagai pedoman observasi kondisi kendaraan. Sementara itu, observasi rute dilakukan menggunakan panduan terstruktur yang mencakup indikator kondisi jalan, rambu lalu lintas, dan marka jalan guna menjaga konsistensi pengamatan selama pengumpulan data lapangan.

Metode Penelitian

Desain dan Lokasi Penelitian

Desain studi observasional potong lintang diadopsi, mengintegrasikan data kuesioner kuantitatif dengan observasi lapangan kualitatif dan wawancara terstruktur. Studi dilakukan antara Januari dan April 2025 di markas operasional dan di sebelas rute layanan Trans Jogja yang dikelola PT AMYGY di Daerah Istimewa Yogyakarta. Izin etik dan akses operasional diperoleh dari manajemen PT AMYGY sebelum pengumpulan data dimulai.

Populasi dan Pengambilan Sampel

Tiga variabel analisis diperiksa, masing-masing dengan sumber data dan strategi pengambilan sampel tersendiri. Untuk variabel pengemudi, seluruh 124 pengemudi Trans Jogja aktif merupakan populasi studi; pendekatan sensus total diadopsi dengan kode unik P1–P124. Untuk variabel kendaraan, seluruh 62 bus operasional menjalani inspeksi fisik langsung. Untuk variabel lingkungan, seluruh 11 rute operasional (3A, 3B, 4A, 4B, 5A, 5B, 6, 8, 9, 10, dan 11) dinilai melalui observasi lapangan sistematis.

Pengumpulan Data

Data pengemudi dikumpulkan menggunakan kuesioner terstruktur yang terdiri dari dua belas item biner (Ya/Tidak) dalam enam subkategori: usia pengemudi, status sertifikasi, keterampilan dan kompetensi, kelelahan dan stres, kondisi kesehatan, dan kepatuhan regulasi. Data kendaraan dikumpulkan melalui inspeksi langsung terhadap seluruh 62 bus dan wawancara semi-terstruktur dengan kepala mekanik. Data lingkungan dikumpulkan melalui observasi lapangan di setiap rute dan wawancara dengan pengemudi, awak bus, dan petugas halte.

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

Setiap modus kegagalan dievaluasi berdasarkan tiga dimensi sesuai metodologi FMEA standar [4]: *Severity* (S) — besarnya potensi kerugian; *Occurrence* (O) — frekuensi terjadinya kegagalan; dan *Detection* (D) — kesulitan mengidentifikasi kegagalan sebelum menimbulkan konsekuensi negatif. Setiap dimensi dinilai pada skala ordinal 1–10. RPN dihitung sebagai: $RPN = S \times O \times D$. Nilai RPN dikategorikan: Rendah ($RPN < 100$), Sedang (100–199), dan Tinggi ($RPN \geq 200$).

Kategorisasi risiko ini membawa implikasi manajerial yang berbeda untuk setiap tingkatan. Modus kegagalan dengan RPN Tinggi (≥ 200) memerlukan tindakan korektif segera (*immediate corrective action*) dengan penetapan penanggung jawab, target waktu penyelesaian, dan mekanisme verifikasi yang terdokumentasi. Modus kegagalan Sedang (100–199) memerlukan pemantauan aktif dan perencanaan perbaikan dalam siklus operasional berikutnya, dengan prioritas sesuai urutan nilai RPN. Modus kegagalan Rendah (< 100) dapat ditangani melalui prosedur pemeliharaan rutin yang sudah berjalan, namun tetap perlu dimasukkan dalam sistem pencatatan risiko untuk evaluasi berkala. Penetapan ambang batas $RPN = 200$ sebagai *cut-off* risiko tinggi mengacu pada praktik umum dalam literatur FMEA transportasi [4], [6] dan disesuaikan dengan konteks operasional layanan BRT.

Root Cause Analysis (RCA)

RCA diterapkan pada tiga modus kegagalan dengan nilai RPN tertinggi di masing-masing kategori variabel. Analisis menggunakan diagram *fishbone* (Ishikawa) [5] yang terstruktur di sekitar enam domain kausal: manusia (*man*), metode, mesin, material, lingkungan, dan manajemen.

Hasil Dan Pembahasan

Modus Kegagalan Variabel Pengemudi

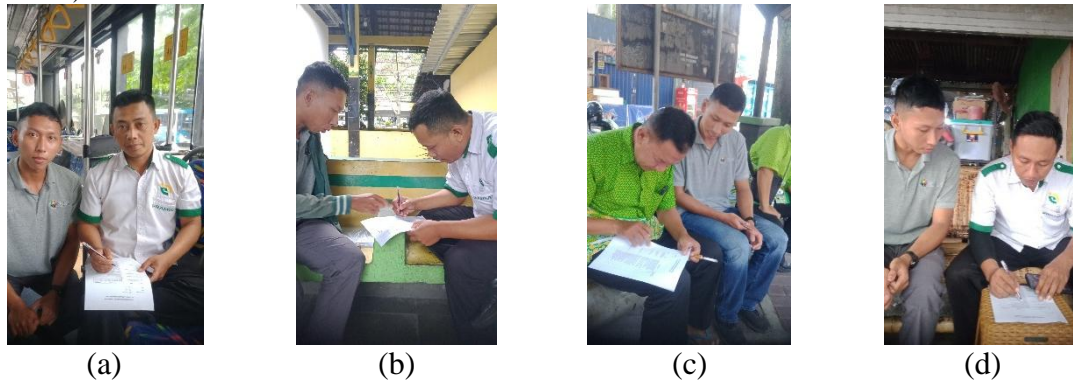
Administrasi kuesioner kepada seluruh 124 pengemudi menghasilkan hasil yang berbeda di enam subkategori penilaian. Usia pengemudi tidak menunjukkan risiko kegagalan; seluruh 124 responden (100%) berusia minimal 22 tahun, memenuhi persyaratan SIM B1 Umum berdasarkan UU No. 22 Tahun 2009. Keterampilan dan kompetensi juga tidak mencatat kegagalan karena seluruh pengemudi telah menjalani pelatihan formal.

Sertifikasi pengemudi mengungkapkan 49 kejadian kegagalan dari 372 kemungkinan respons; 45 disebabkan tidak adanya Sertifikat Pengemudi Angkutan Umum (SPAU), empat sisanya berupa SIM B1 Umum yang tidak aktif. Kelelahan dan stres: 61 dari 124 pengemudi (49,2%) melaporkan rutin mengemudi lebih dari delapan jam per hari. Temuan ini sejalan dengan bukti bahwa paparan jam kerja panjang secara kumulatif melemahkan performa mengemudi melalui gangguan ritme sirkadian dan akumulasi kelelahan fisiologis [11], [12]. Pemeriksaan kesehatan menghasilkan 149 kegagalan dari 248 kemungkinan; seluruh 124 pengemudi tidak pernah menjalani pemeriksaan kesehatan pra-tugas, dan 25 pengemudi tambahan tidak mendapatkan pemeriksaan medis berkala.

Tabel 1. Hasil FMEA variabel pengemudi: modus kegagalan, penilaian, dan risk priority number

Modus Kegagalan	S	O	D	RPN	Kategori Risiko
Defisiensi sertifikasi pengemudi (tidak ada SPAU / SIM B1 Umum tidak aktif)	9	7	2	126	Sedang
Kelelahan dan stres (mengemudi > 8 jam/hari)	9	4	6	216	Tinggi
Tidak ada pemeriksaan kesehatan pra-tugas dan berkala	9	4	5	180	Sedang

Pemeriksaan kuesioner kepada seluruh pengemudi dilakukan secara langsung di kantor operasional PT AMYGY. Selama sesi pengambilan data, seluruh 124 pengemudi hadir dan memberikan respons yang lengkap (Gambar 1).



Gambar 1 Administrasi kuesioner kepada pengemudi Trans Jogja.

Modus Kegagalan Variabel Kendaraan

Inspeksi fisik langsung terhadap seluruh 62 bus Trans Jogja dan wawancara dengan kepala mekanik mengidentifikasi enam modus kegagalan. Inspeksi, pengujian berkala, dan perlengkapan wajib tidak mencatat kegagalan: seluruh kendaraan memiliki sertifikat KIR yang valid dan membawa perlengkapan wajib lengkap sesuai regulasi yang berlaku, termasuk CCTV, GPS, *speed limiter*, serta alat keselamatan darurat. Enam modus kegagalan teridentifikasi pada subkategori pemeliharaan dan perlengkapan standar. Setidaknya satu mekanik tidak memiliki sertifikat kompetensi yang valid akibat rekrutmen personel teknis baru. Bukti empiris mendukung signifikansi temuan ini: inspeksi kendaraan berkala oleh teknisi berkualifikasi terbukti secara konsisten mengurangi risiko kecelakaan yang disebabkan kegagalan mekanis [14]. Seluruh 62 kendaraan tidak dilengkapi ban cadangan, dongkrak hidrolik, kunci roda, senter, dan lampu penerang TNKB.

Tabel 2. Hasil FMEA variabel kendaraan: modus kegagalan, penilaian, dan risk priority number

Modus Kegagalan	S	O	D	RPN	Kategori Risiko
Pemeliharaan oleh mekanik tidak bersertifikat	9	7	4	252	Tinggi
Tidak ada ban cadangan di 62 kendaraan	7	3	3	63	Rendah
Tidak ada kunci roda di 62 kendaraan	7	3	3	63	Rendah
Tidak ada dongkrak hidrolik di 62 kendaraan	7	3	3	63	Rendah
Tidak ada lampu penerang TNKB	5	3	3	45	Rendah
Tidak ada senter untuk darurat	5	4	3	60	Rendah

Modus Kegagalan Variabel Lingkungan

Observasi lapangan sistematis di seluruh 11 rute mengidentifikasi sepuluh kejadian kegagalan pada tiga subkategori lingkungan. Defisiensi rambu lalu lintas tercatat di lima rute: rute 3B (tanda halte terhalang spanduk komersial), rute 8, 10, dan 11 (tidak ada rambu arah halte), rute 9 (halte portabel tanpa tanda larangan parkir). Defisiensi marka jalan: rute 6 (7,6 km tanpa marka) dan rute 8 (2,4 km tanpa marka). Kerusakan permukaan jalan: rute 6 (lubang dan penurunan sepanjang 8 km), rute 8 (retak ±1 km), dan rute 10 (penurunan di akses *Park-and-Ride*). Penelitian terkini menegaskan bahwa kondisi marka jalan dan rambu lalu lintas yang buruk secara signifikan meningkatkan beban kognitif pengemudi dan menurunkan kepatuhan terhadap aturan jalan, khususnya pada kondisi malam hari [12].

Tabel 3. Hasil FMEA variabel lingkungan: modus kegagalan, penilaian, dan risk priority number

Modus Kegagalan	S	O	D	RPN	Kategori Risiko
Rambu lalu lintas hilang/terhalang (5 rute terdampak)	8	5	6	240	Tinggi
Marka jalan tidak ada pada rute 6 dan 8	8	5	5	200	Tinggi
Permukaan jalan rusak (lubang, penurunan, retak)	8	6	4	192	Sedang

Peringkat Risiko FMEA Keseluruhan

Di seluruh tiga domain variabel, dua belas modus kegagalan berhasil teridentifikasi, dengan empat diklasifikasikan sebagai risiko tinggi (RPN ≥ 200), empat risiko sedang, dan empat risiko rendah. RPN tertinggi

dikaitkan dengan pemeliharaan oleh mekanik tidak bersertifikat (RPN = 252), sebagaimana dirangkum dalam Tabel 4 dan divisualisasikan pada Gambar 2.

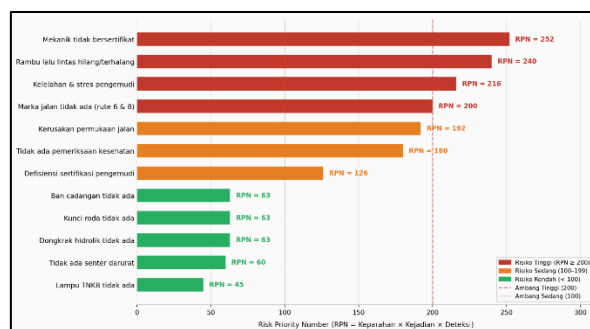
Tabel 4. Ringkasan semua modus kegagalan berdasarkan rank RPN di seluruh tiga variabel

Rank	Modus Kegagalan	RPN	Kategori	Variabel
1	Pemeliharaan oleh mekanik tidak bersertifikat	252	Tinggi	Kendaraan
2	Rambu lalu lintas hilang/terhalang	240	Tinggi	Lingkungan
3	Kelelahan dan stres (> 8 jam/hari)	216	Tinggi	Pengemudi
4	Marka jalan tidak ada (rute 6 dan 8)	200	Tinggi	Lingkungan
5	Kerusakan permukaan jalan	192	Sedang	Lingkungan
6	Tidak ada pemeriksaan kesehatan	180	Sedang	Pengemudi
7	Defisiensi sertifikasi pengemudi	126	Sedang	Pengemudi
8	Ban cadangan/kunci roda/dongkrak tidak ada	63	Rendah	Kendaraan
9	Tidak ada senter/lampu penerang TNKB	45–60	Rendah	Kendaraan

Untuk memperjelas hubungan antara nilai RPN dan akar penyebab yang teridentifikasi melalui RCA, Tabel 4 dapat dibaca secara terintegrasi dengan diagram fishbone pada Gambar 3. Modus kegagalan dengan RPN tertinggi (≥ 200) masing-masing memiliki akar penyebab yang bermuara pada domain manajemen, sebagaimana dirangkum pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Pemetaan integrasi RPN tertinggi dengan akar penyebab dominan

Modus Kegagalan	RPN	Domain Akar Penyebab Dominan	Rekomendasi Mitigasi Utama
Pemeliharaan oleh mekanik tidak bersertifikat	252	Manajemen (kebijakan rekrutmen, SOP)	Kewajiban sertifikasi kompetensi mekanik
Rambu lalu lintas hilang/terhalang	240	Manajemen (koordinasi antarlembaga)	Formalisasi protokol koordinasi Dishub–PT AMYGY
Kelelahan pengemudi (> 8 jam/hari)	216	Manajemen (kebijakan shift, pemantauan)	Sistem manajemen kelelahan & batas shift terstruktur
Marka jalan tidak ada (rute 6 & 8)	200	Manajemen (pemantauan kondisi rute)	Sistem inspeksi rute berkala & pelaporan terstandarisasi



Gambar 2. Risk priority numbers (RPN) untuk variabel pengemudi, kendaraan, dan lingkungan

Root Cause Analysis Modus Kegagalan Berprioritas Tinggi

Kelelahan dan stres pengemudi (RPN = 216)

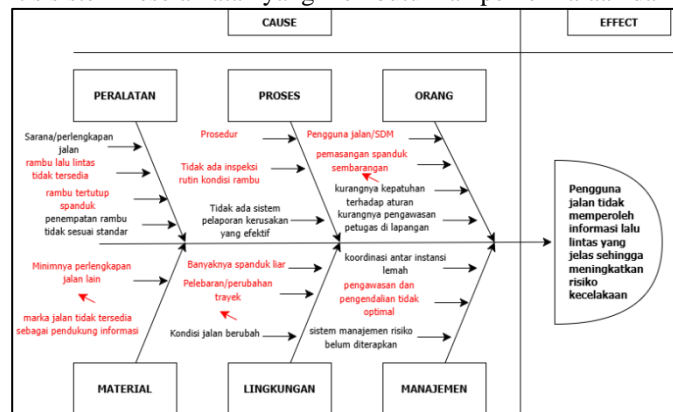
Akar penyebab dominan terletak pada domain manajemen: ketiadaan kebijakan jam kerja maksimum yang diformalkan, pemantauan supervisory yang tidak memadai terhadap durasi shift, dan tidak adanya sistem manajemen kelelahan organisasional [9]. Kontributor manusia mencakup variasi individu dalam toleransi kelelahan dan motivasi finansial pengemudi untuk memperpanjang shift secara sukarela [15]. Penyebab metode mencakup arsitektur penjadwalan yang suboptimal dan ketiadaan protokol rotasi shift yang terstruktur — suatu kondisi yang menurut literatur terkini berkontribusi langsung terhadap gangguan ritme sirkadian dan penurunan kualitas tidur pada pengemudi komersial [11]. Kemacetan lalu lintas pada rute tertentu juga memperpanjang durasi mengemudi kumulatif melampaui parameter yang direncanakan.

Mekanik kendaraan tidak bersertifikat (RPN = 252)

Akar penyebab utama adalah defisiensi tingkat manajemen: tidak adanya persyaratan sertifikasi formal dalam kebijakan rekrutmen mekanik, pengawasan jaminan kualitas pemeliharaan yang tidak memadai, dan ketiadaan SOP yang terstandarisasi untuk proses servis dan perbaikan kendaraan [10], [16]. Faktor manusia mencakup keterbatasan keterampilan personel teknis baru. Tidak adanya program mentoring terstruktur memperburuk kondisi ini. Bukti empiris dari tinjauan sistematis menegaskan bahwa ketiadaan inspeksi kendaraan berkala oleh teknisi berkualifikasi secara konsisten meningkatkan risiko kecelakaan akibat kegagalan mekanis [14]. Pemeliharaan yang tidak bersertifikat berpotensi memperkenalkan cacat teknis tersembunyi yang meningkatkan probabilitas kegagalan mekanis selama operasional [17].

Defisiensi rambu lalu lintas (RPN = 240)

Akar penyebab dominan adalah koordinasi antarlembaga yang tidak memadai antara PT AMYGY, Dinas Perhubungan Yogyakarta, dan otoritas pengelola jalan — kesenjangan tata kelola sistemik [18]. Faktor kontributor manajemen lainnya mencakup ketiadaan mekanisme pemantauan kondisi rute yang sistematis. Faktor manusia: rendahnya kepatuhan publik terhadap norma perlindungan rambu dan pemasangan spanduk komersial oleh pihak ketiga. Perluasan rute tanpa pembaruan rambu yang sesuai memperburuk kondisi ini. Kajian terkini tentang infrastruktur jalan di negara berkembang menegaskan bahwa kelengkapan dan keterbacaan rambu lalu lintas merupakan komponen kritis sistem keselamatan yang membutuhkan pemeliharaan dan pemantauan berkala [12].



Gambar 3. Fishbone diagram defisiensi rambu lalu lintas (RPN = 240)

Analisis Interaksi Antar Variabel dan Akumulasi Risiko Multi-Domain

Analisis lintas-domain mengungkapkan bahwa akumulasi risiko multi-variabel tidak bersifat aditif semata, melainkan dapat bersifat sinergistik. Sebagai contoh, kelelahan pengemudi (RPN = 216) yang beroperasi pada rute dengan defisiensi rambu lalu lintas (RPN = 240) secara bersamaan menciptakan kondisi paparan risiko yang jauh melampaui nilai RPN masing-masing variabel secara individual. Beban kognitif pengemudi yang telah terdegradasi akibat kelelahan akan semakin meningkat ketika infrastruktur jalan tidak memberikan isyarat visual yang memadai, sehingga probabilitas kesalahan keputusan meningkat secara eksponensial [11], [12]. Demikian pula, pemeliharaan oleh mekanik tidak bersertifikat (RPN = 252) yang beroperasi tanpa SOP terstandarisasi dapat menghasilkan cacat teknis laten yang tidak terdeteksi hingga kendaraan beroperasi pada segmen rute dengan permukaan rusak (RPN = 192), di mana beban mekanikal terhadap komponen kendaraan meningkat signifikan. Ko-kemunculan risiko lintas-domain ini menunjukkan bahwa pendekatan mitigasi berbasis variabel tunggal tidak memadai; diperlukan penilaian risiko terintegrasi yang memodelkan interaksi antar modus kegagalan sebagai sistem, bukan sebagai entitas yang saling independen.

Temuan lintas-domain menunjukkan bahwa defisiensi manajemen secara konsisten mendominasi seluruh variabel. Hal ini konsisten dengan literatur FMEA berbasis transportasi yang menunjukkan bahwa perbaikan teknis individual tidak cukup tanpa reformasi kebijakan organisasional yang menyeluruh [19], [20]. Pola ini selaras dengan kerangka internasional ISO 39001:2012 *Road Traffic Safety Management Systems*, yang mewajibkan komitmen tingkat organisasi melalui penetapan kebijakan keselamatan yang terdokumentasi, penunjukan perwakilan manajemen keselamatan, serta mekanisme audit dan tinjauan manajemen periodik [21]. Dalam konteks Trans Jogja, ketiadaan kebijakan jam kerja formal, absennya persyaratan sertifikasi mekanik dalam prosedur rekrutmen, dan lemahnya koordinasi antarlembaga untuk pengelolaan rambu mencerminkan kesenjangan struktural yang secara langsung bertentangan dengan persyaratan klausul perencanaan dan dukungan dalam ISO 39001. Adopsi kerangka ini — atau setidaknya prinsip-prinsip intinya — oleh PT AMYGY dan otoritas terkait dapat menyediakan fondasi sistemik bagi peningkatan keselamatan yang berkelanjutan, melampaui respons korektif ad hoc terhadap insiden individual [21]. Studi terkini yang menggunakan jaringan Bayesian pada data peringatan bus perkotaan menunjukkan bahwa risiko keselamatan berkluster secara spasial pada segmen jalan tertentu, mendukung pendekatan stratifikasi risiko berbasis rute [13].

Ko-kemunculan kerusakan permukaan jalan (RPN = 192) dan ketiadaan marka jalan (RPN = 200) pada segmen rute yang sama menghasilkan paparan risiko yang berlipat, tidak tertangkap oleh perhitungan RPN

variabel tunggal. Dari perspektif keselamatan pengguna jalan, risiko berlapis ini juga berpotensi memengaruhi pengguna moda lain yang berbagi koridor dengan bus Trans Jogja [22]. Kondisi ini memerlukan stratifikasi risiko berbasis rute dalam penilaian keselamatan operasional di masa mendatang [23]. Relevansi studi ini juga diperkuat oleh konteks pengelolaan kualitas layanan dalam industri, di mana FMEA terbukti efektif dalam mengurangi tingkat cacat dan meningkatkan standar operasional pada berbagai sektor produksi dan layanan [8], [24], [25]. Pengembangan kerangka kerja sistematis seperti yang diterapkan dalam studi ini berkontribusi pada peningkatan kapasitas analitis operator BRT, terutama di wilayah yang membutuhkan pendekatan berbasis data dalam pengambilan keputusan manajemen [26].

Simpulan

Penelitian ini secara sistematis mengidentifikasi, mengevaluasi, dan memprioritaskan risiko keselamatan operasional di layanan bus Trans Jogja melalui integrasi FMEA dan RCA pada variabel pengemudi, kendaraan, dan lingkungan. Dua belas modus kegagalan teridentifikasi; empat diklasifikasikan sebagai risiko tinggi ($RPN \geq 200$). Tiga modus kegagalan berprioritas tertinggi — pemeliharaan oleh mekanik tidak bersertifikat ($RPN = 252$), rambu lalu lintas hilang/terhalang ($RPN = 240$), dan kelelahan pengemudi akibat jam kerja berlebih ($RPN = 216$) — memerlukan prioritas segera.

Analisis akar penyebab secara konsisten mengidentifikasi defisiensi tingkat manajemen sebagai penentu mendasar risiko: ketiadaan kebijakan formal, mekanisme pemantauan yang lemah, dan ketiadaan sistem manajemen risiko terintegrasi. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan berkelanjutan memerlukan reformasi tata kelola sistemik.

Rekomendasi pengendalian risiko yang diusulkan meliputi: (1) **Sertifikasi mekanik**: kewajiban sertifikasi kompetensi bagi seluruh mekanik sebagai prasyarat kerja, dengan tenggat transisi maksimal enam bulan dan program mentoring terstruktur bagi teknisi baru, mengacu pada standar kompetensi BNSP bidang otomotif; (2) **Manajemen kelelahan**: implementasi sistem manajemen kelelahan berbasis Fatigue Risk Management System (FRMS) dengan batas shift delapan jam yang dapat ditegakkan secara administratif, rotasi jadwal terstruktur menggunakan perangkat lunak penjadwalan, dan pemantauan supervisi harian terhadap durasi mengemudi kumulatif; (3) **Koordinasi antarlembaga**: formalisasi Nota Kesepahaman (MoU) antara PT AMYGY, Dinas Perhubungan DIY, dan Dinas Pekerjaan Umum untuk pemeliharaan dan pemantauan rambu serta marka jalan secara berkala pada seluruh rute operasional; (4) **Pemeriksaan kesehatan**: penyelenggaraan pemeriksaan kesehatan pra-tugas harian dan berkala triwulanan bagi seluruh pengemudi, terintegrasi dalam prosedur check-in operasional harian; serta (5) **Pemantauan kondisi rute**: pengembangan sistem inspeksi rute berbasis aplikasi digital dengan pelaporan kondisi infrastruktur secara real-time oleh awak bus dan petugas halte. Langkah-langkah ini, dalam kerangka sistem manajemen keselamatan yang konsisten dengan standar ISO 39001, diharapkan dapat secara substansial mengurangi profil risiko operasional Trans Jogja.

Beberapa keterbatasan perlu diakui untuk memberikan konteks yang tepat bagi interpretasi temuan ini. Pertama, studi ini merupakan *single-case study* yang terbatas pada layanan Trans Jogja yang dikelola PT AMYGY di DIY, sehingga generalisasi temuan ke sistem BRT lain di Indonesia atau konteks internasional perlu dilakukan dengan kehati-hatian. Kedua, meskipun observasi lapangan mencakup seluruh 11 rute operasional, frekuensi dan durasi observasi per rute bervariasi, sehingga kondisi infrastruktur yang bersifat intermiten atau musiman mungkin tidak sepenuhnya tertangkap. Ketiga, data variabel pengemudi dikumpulkan melalui kuesioner *self-report*, yang membawa risiko *social desirability bias* — khususnya pada item terkait kelelahan dan kepatuhan regulasi — di mana pengemudi mungkin cenderung memberikan respons yang dianggap lebih sesuai secara normatif. Keempat, penilaian RPN dalam FMEA bersifat subjektif dan bergantung pada konsensus tim, sehingga variasi antar penilai tidak dapat sepenuhnya dieliminasi meskipun panduan skoring telah distandarisasi. Studi lanjutan disarankan untuk mengadopsi desain multi-kasus, memperluas cakupan observasi longitudinal, dan melengkapi data *self-report* dengan pengukuran objektif seperti data telematis kendaraan atau perangkat pemantauan kelelahan berbasis biometrik.

Daftar Pustaka

- [1] T. Litman, "Evaluating Public Transit Benefits and Costs," Victoria, BC, Canada, 2021. [Online]. Available: <https://www.vtpi.org/tranben.pdf>
- [2] S. Cafiso, A. Di Graziano, and G. Pappalardo, "Using the Delphi method to evaluate opinions of public transport managers on bus safety," *Saf. Sci.*, vol. 57, pp. 254–263, Aug. 2013, doi: 10.1016/j.ssci.2013.03.001.
- [3] Korlantas Polri, "Data Kecelakaan Lalu Lintas Nasional 2023," Jakarta, 2023.
- [4] International Electrotechnical Commission, "IEC 60812: Failure Mode and Effects Analysis (FMEA and

- FMECA),” Geneva, 2018.
- [5] K. Ishikawa, *Introduction To Quality Control*. Tokyo: 3A Publication, 1990.
- [6] H.-C. Liu, L. Liu, and N. Liu, “Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 2, pp. 828–838, Feb. 2013, doi: 10.1016/j.eswa.2012.08.010.
- [7] S. R. Trammell, D. K. Lorenzo, and B. J. Davis, “Integrated safety management: Combining safety engineering and risk management,” *Prof. Saf.*, vol. 49, no. 7, pp. 32–38, 2004.
- [8] A. G. Muhammad Rizki *et al.*, “Determining marketing strategy at LPP TVRI Riau using SWOT analysis method,” *J. Appl. Eng. Technol. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 10–18, 2022.
- [9] S. A. Useche, F. Alonso, B. Cendales, and L. Montoro, “Working conditions, job strain, and traffic safety among three groups of road professionals,” *Saf. Health Work*, vol. 10, no. 4, pp. 454–461, 2019, doi: 10.1016/j.shaw.2019.06.001.
- [10] M. Hizriansyah, Hizriansyah and Maretalinia, “Human Error and Near Misses in Hospital Occupational Safety : A Root Cause Analysis Using HFACS Framework,” *Open Access Heal. Sci. J.*, vol. 6, no. 2, pp. 284–292, 2025.
- [11] J. E. Mabry *et al.*, “Unravelling the Complexity of Irregular Shiftwork, Fatigue and Sleep Health for Commercial Drivers and the Associated Implications for Roadway Safety,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, no. 22, p. 14780, Nov. 2022, doi: 10.3390/ijerph192214780.
- [12] D. Babić, D. Babić, M. Fiolic, and M. Ferko, “Road Markings and Signs in Road Safety,” *Encyclopedia*, vol. 2, no. 4, pp. 1738–1752, Oct. 2022, doi: 10.3390/encyclopedia2040119.
- [13] H. Li *et al.*, “Identification of Risk Factors for Bus Operation Based on Bayesian Network,” *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 20, p. 9602, Oct. 2024, doi: 10.3390/app14209602.
- [14] L. M. Martín-delosReyes, P. Lardelli-Claret, L. García-Cuerva, M. Rivera-Izquierdo, E. Jiménez-Mejías, and V. Martínez-Ruiz, “Effect of Periodic Vehicle Inspection on Road Crashes and Injuries: A Systematic Review,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 12, p. 6476, Jun. 2021, doi: 10.3390/ijerph18126476.
- [15] P. Tàpia-Caballero, M.-J. Serrano-Fernández, M. Boada-Cuerva, B. Sora, and J. Boada-Grau, “Influence that job characteristics, personality and burnout have on fatigue in professional drivers,” *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, vol. 28, no. 3, pp. 1331–1341, Jul. 2022, doi: 10.1080/10803548.2021.1888019.
- [16] R. J. Latino and K. C. Latino, *Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom-Line Results*, 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [17] O. N. Aneziris *et al.*, “Towards risk assessment for crane activities,” *Saf. Sci.*, vol. 46, no. 6, pp. 872–884, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.ssci.2007.11.012.
- [18] J. de Oña, R. de Oña, and G. López, “Transit service quality analysis using cluster analysis and decision trees: a step forward to personalized marketing in public transportation,” *Transportation (Amst.)*, vol. 43, no. 5, pp. 725–747, Sep. 2016, doi: 10.1007/s11116-015-9615-0.
- [19] H. Schneider and D. H. Stamatis, “Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution,” *Technometrics*, vol. 38, no. 1, p. 80, Feb. 1996, doi: 10.2307/1268911.
- [20] R. A. Wijaya and I. Santoso, “Analisis keselamatan operasional angkutan umum perkotaan di Indonesia: Studi kasus kota-kota besar,” *J. Transp.*, vol. 21, no. 2, pp. 89–98, 2021.
- [21] ISO, “ISO 39001: Road Traffic Safety (RTS) Management Systems — Requirements with Guidance for Use,” Geneva, 2012.
- [22] A. Stelling-Konczak, G. P. van Wee, J. J. F. Commandeur, and M. Hagenzieker, “Mobile phone conversations, listening to music and quiet (electric) cars: Are traffic sounds important for safe cycling?,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 106, pp. 10–22, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.aap.2017.05.014.
- [23] E. Hauer, “Computing what the public wants: Some issues in road safety cost–benefit analysis,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 43, no. 1, pp. 151–164, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.aap.2010.08.004.
- [24] A. wicaksono Wicaksono and F. Yuamita, “Pengendalian Kualitas Produksi Sarden Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Untuk Meminimumkan Cacat Kaleng Di PT. Maya Food Industries,” *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 1, no. I, pp. 1–6, Mar. 2022, doi: 10.55826/tmit.v1i1.6.
- [25] J. N. A. Aziza, “Perbandingan Metode Moving Average, Single Exponential Smoothing, dan Double Exponential Smoothing Pada Peramalan Permintaan Tabung Gas LPG PT Petrogas Prima Services,” *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 1, no. I, pp. 35–41, Mar. 2022, doi: 10.55826/tmit.v1i1.8.
- [26] S. Adi and F. Yuamita, “Analisis Ergonomi Dalam Penggunaan Mesin Penggilingan Pupuk Menggunakan Metode Quick Exposure Checklist Pada Pt. Putra Manunggal Sakti,” *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 1, no. I, pp. 22–34, Mar. 2022, doi: 10.55826/tmit.v1i1.7.