



Tinjauan Literatur Sistematis Manajemen Operasional Angkutan Truk Tambang : Metode Prisma

Werwety ^{1*}, Adris Ade Putra ²

^{1,2} Ilmu Manajemen, Universitas Halu Oleo, Indonesia

*Penulis Korespondensi: werwetitandra303@gmail.com

Abstract. *The rapid expansion of nickel mining activities in Konawe Regency, Southeast Sulawesi, has significantly increased the volume of heavy-duty mining trucks on public road networks, creating severe traffic congestion and road infrastructure deterioration. This study aims to systematically review the literature on time-window and metering-based operational management models for mining truck transportation and their effectiveness in improving traffic performance. The method employed is a Systematic Literature Review (SLR) following the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) protocol, analyzing 15 scientific articles published between 2019 and 2023. The findings indicate that time-window systems effectively reduce peak-hour traffic volume by 25-40%, while metering approaches increase intersection throughput by up to 28%. Integration of IoT-based fleet monitoring and smart traffic management systems further enhances operational efficiency. Key success factors include stakeholder coordination, digital infrastructure investment, and enforcement mechanisms. Challenges identified encompass high implementation costs, limited local institutional capacity, and social resistance from mining communities. The study recommends a comprehensive and adaptive regulatory framework for mining truck management in Konawe, incorporating time-window scheduling, electronic metering, dedicated haul road corridors, and real-time monitoring to achieve sustainable improvements in traffic performance and road infrastructure quality.*

Keywords: *Konawe; Metering; Mining Truck; Operational Management; PRISMA; Time-Window; Traffic Management.*

Abstrak. Perkembangan pesat aktivitas pertambangan nikel di Kabupaten Konawe, Sulawesi Tenggara, telah meningkatkan secara signifikan volume kendaraan truk berat pada jaringan jalan umum, sehingga menimbulkan kemacetan lalu lintas yang parah dan penurunan kualitas infrastruktur jalan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan literatur sistematis terhadap model manajemen operasional berbasis time-window dan metering untuk angkutan truk tambang serta efektivitasnya dalam meningkatkan kinerja lalu lintas. Metode yang digunakan adalah Tinjauan Literatur Sistematis (SLR) dengan mengikuti protokol PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), menganalisis 15 artikel ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2019 hingga 2023. Temuan menunjukkan bahwa sistem time-window secara efektif mengurangi volume lalu lintas pada jam puncak sebesar 25-40%, sementara pendekatan metering meningkatkan kapasitas simpang hingga 28%. Integrasi pemantauan armada berbasis IoT dan sistem manajemen lalu lintas cerdas semakin meningkatkan efisiensi operasional. Faktor-faktor keberhasilan utama meliputi koordinasi pemangku kepentingan, investasi infrastruktur digital, dan mekanisme penegakan hukum. Tantangan yang teridentifikasi mencakup biaya implementasi yang tinggi, kapasitas kelembagaan lokal yang terbatas, dan resistensi sosial dari komunitas pertambangan. Penelitian ini merekomendasikan kerangka regulasi yang komprehensif dan adaptif untuk manajemen truk tambang di Konawe, yang memadukan penjadwalan time-window, metering elektronik, koridor jalan khusus angkutan, dan pemantauan real-time untuk mencapai peningkatan yang berkelanjutan dalam kinerja lalu lintas dan kualitas infrastruktur jalan.

Kata kunci: Konawe; Manajemen Lalu Lintas; Manajemen Operasional; Metering; PRISMA; Time-Window; Truk Tambang.

1. LATAR BELAKANG

Kabupaten Konawe merupakan salah satu wilayah dengan konsentrasi aktivitas pertambangan nikel terbesar di Indonesia. Keberadaan sejumlah perusahaan tambang berskala besar di wilayah ini telah mendorong pertumbuhan ekonomi yang signifikan, namun di sisi lain

menimbulkan tekanan yang luar biasa terhadap infrastruktur jalan yang ada. Ribuan kendaraan truk bertonase tinggi yang beroperasi setiap harinya tidak hanya mempercepat kerusakan jalan, tetapi juga menyebabkan gangguan lalu lintas yang berdampak langsung pada aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat setempat (Darmawan & Hidayat, 2022).

Permasalahan manajemen angkutan tambang bukan merupakan isu yang berdiri sendiri, melainkan berkaitan erat dengan sistem tata kelola lalu lintas, kapasitas infrastruktur, keselamatan jalan, dan kualitas hidup masyarakat yang tinggal di sekitar koridor tambang. Data lapangan menunjukkan bahwa ruas-ruas jalan utama di Kabupaten Konawe mengalami derajat kejenuhan (*degree of saturation*) yang jauh melampaui ambang batas standar MKJI 1997, terutama pada jam-jam operasional aktif kendaraan tambang. Kondisi ini diperparah oleh ketidakseimbangan antara kapasitas jalan yang tersedia dengan volume kendaraan berat yang melintas setiap harinya (Firmansyah & Rahayu, 2023).

Dua pendekatan yang banyak dikaji dalam literatur internasional untuk mengatasi permasalahan serupa adalah sistem *time-window* dan *metering*. *Time-window* merupakan metode pengaturan waktu operasional kendaraan berat pada koridor tertentu sehingga terjadi distribusi beban lalu lintas yang lebih merata sepanjang hari, mengurangi konsentrasi volume pada jam-jam puncak. Sementara itu, *metering* adalah teknik pengendalian laju kendaraan yang memasuki jaringan jalan atau simpang tertentu dengan tujuan menjaga volume arus pada tingkat yang masih dapat dilayani oleh kapasitas infrastruktur yang ada (Nugroho & Widodo, 2020; Siregar et al., 2023).

Di berbagai negara, kedua pendekatan tersebut telah berhasil diimplementasikan pada kawasan tambang dan industri berat lainnya. Namun demikian, keberhasilan penerapannya sangat bergantung pada kondisi lokal, termasuk karakteristik jaringan jalan, pola operasional perusahaan tambang, kapasitas kelembagaan pemerintah daerah, serta tingkat koordinasi antar pemangku kepentingan. Belum ada kajian yang secara sistematis mengompilasi dan mengevaluasi berbagai model tersebut dalam konteks spesifik Kabupaten Konawe sebagai wilayah pertambangan dengan karakteristik uniknya sendiri.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) Model manajemen operasional berbasis *time-window* dan *metering* apa saja yang telah diterapkan di kawasan pertambangan dan bagaimana efektivitasnya terhadap kinerja lalu lintas? (2) Faktor-faktor apa yang mendukung dan menghambat keberhasilan implementasi model tersebut? (3) Rekomendasi kebijakan apa yang dapat dirumuskan untuk pengembangan sistem manajemen angkutan truk tambang yang optimal di Kabupaten Konawe?

2. KAJIAN TEORITIS

Bagian ini menguraikan kerangka teoretis yang mendasari penelitian serta memberikan ulasan tentang konsep-konsep inti yang relevan dengan topik manajemen operasional angkutan truk tambang berbasis time-window dan metering.

Manajemen Operasional Angkutan Berat

Manajemen operasional angkutan berat merupakan suatu sistem pengelolaan terpadu yang mencakup perencanaan, pengorganisasian, pengendalian, dan evaluasi seluruh aspek pergerakan kendaraan bertonase tinggi pada jaringan jalan umum. Dalam konteks industri pertambangan, manajemen ini menjadi sangat kompleks karena melibatkan interaksi antara kebutuhan produktivitas tambang dengan kepentingan publik dalam hal keselamatan, kenyamanan, dan keawetan infrastruktur jalan (Budiman & Santoso, 2020).

Konsep manajemen operasional angkutan berat pada kawasan tambang berkembang pesat sejalan dengan meningkatnya kesadaran akan eksternalitas negatif yang ditimbulkan oleh operasi kendaraan berat. Teori dasar manajemen transportasi mengidentifikasi bahwa optimasi sistem angkutan tidak hanya mencakup efisiensi internal perusahaan, tetapi juga harus mempertimbangkan biaya sosial yang ditanggung oleh masyarakat luas, termasuk biaya kerusakan jalan, polusi udara dan kebisingan, serta risiko keselamatan (Wardana & Kusuma, 2019).

Sistem Time-Window dalam Transportasi

Time-window dalam konteks transportasi merujuk pada penetapan interval waktu tertentu di mana kendaraan diperbolehkan atau dibatasi untuk beroperasi pada ruas jalan atau kawasan tertentu. Konsep ini berakar pada teori manajemen permintaan lalu lintas (travel demand management) yang berupaya mendistribusikan beban perjalanan secara lebih merata sepanjang hari sehingga menghindari konsentrasi volume pada periode-periode tertentu yang menyebabkan kemacetan (Nugroho & Widodo, 2020).

Dalam optimasi logistik, Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) merupakan variasi dari Vehicle Routing Problem (VRP) klasik yang menambahkan dimensi kendala temporal. VRPTW bertujuan menemukan solusi rute yang meminimalkan total biaya operasional sekaligus memastikan setiap titik pelayanan dikunjungi dalam jendela waktu yang telah ditetapkan. Penerapan VRPTW pada manajemen truk tambang terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan armada secara signifikan (Siregar et al., 2023).

Sistem Metering untuk Pengendalian Lalu Lintas

Metering dalam konteks manajemen lalu lintas adalah teknik pengendalian laju kedatangan kendaraan pada suatu titik atau ruas jalan dengan tujuan menjaga volume arus pada

tingkat yang masih dapat ditampung oleh kapasitas jaringan di hilir. Prinsip dasar metering bersumber dari teori arus lalu lintas (*traffic flow theory*) yang mengakui bahwa kapasitas jaringan jalan bersifat terbatas dan dapat mengalami *breakdown* jika volume yang masuk melebihi kapasitas kritis (Firmansyah & Rahayu, 2023).

Teknologi metering telah berkembang dari sistem sederhana berbasis rambu dan lampu isyarat manual hingga sistem canggih berbasis sensor elektronik, kamera, dan algoritma kecerdasan buatan. Pada kawasan tambang, metering dapat diterapkan di titik-titik masuk area tambang, persimpangan kritis, jembatan timbang, maupun sepanjang koridor jalan tambang. Sistem metering modern yang terintegrasi dengan *Internet of Things (IoT)* memungkinkan pengendalian *real-time* dan adaptif berdasarkan kondisi aktual lalu lintas (Supriyadi et al., 2021).

Kinerja Lalu Lintas pada Kawasan Tambang

Penilaian kinerja lalu lintas pada kawasan tambang menggunakan sejumlah indikator kuantitatif yang ditetapkan dalam *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997)*. Indikator-indikator utama meliputi derajat kejenuhan ($DS = V/C$ ratio), kecepatan tempuh rata-rata, waktu tempuh, tundaan, dan antrian kendaraan. Kehadiran kendaraan berat tambang dalam arus lalu lintas memerlukan konversi ke satuan mobil penumpang (SMP) menggunakan ekuivalen kendaraan penumpang (EMP) yang mencerminkan dampak kendaraan berat terhadap kapasitas jalan (Firmansyah & Rahayu, 2023).

Penelitian Hartono et al. (2021) menunjukkan bahwa proporsi truk tambang yang melebihi 15% dari total volume arus lalu lintas pada jalan dua lajur dua arah cenderung memicu kondisi *bottleneck* yang tidak stabil. Fenomena ini memerlukan intervensi manajemen yang proaktif, baik melalui pembatasan waktu operasi, pengendalian kecepatan, maupun pemisahan arus kendaraan berat dan kendaraan ringan pada koridor yang sama.

Kerangka Regulasi Angkutan Tambang di Indonesia

Regulasi angkutan barang di Indonesia diatur dalam Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan serta berbagai peraturan turunannya. Kendaraan angkutan barang yang melampaui batas muatan sumbu terberat (MST) dapat dikenai sanksi berupa tilang dan denda berdasarkan Pasal 307 UU LLAJ. Di samping itu, Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara mewajibkan perusahaan tambang untuk mengelola dampak lingkungan dan sosial dari kegiatan pertambangannya, termasuk dampak terhadap infrastruktur jalan (Wahyudi et al., 2023).

Namun demikian, implementasi regulasi tersebut di tingkat daerah masih menghadapi berbagai kendala, terutama terbatasnya kapasitas pengawasan dan penegakan hukum oleh Dinas Perhubungan dan aparat terkait. Kerangka regulasi yang komprehensif dan dapat diimplementasikan secara efektif membutuhkan koordinasi erat antara pemerintah pusat, pemerintah daerah, dan perusahaan tambang yang beroperasi di wilayah tersebut.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain Tinjauan Literatur Sistematis (Systematic Literature Review/SLR) dengan mengikuti protokol PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan identifikasi, evaluasi, dan sintesis bukti empiris yang tersedia secara komprehensif, transparan, dan dapat direplikasi mengenai efektivitas model time-window dan metering pada manajemen angkutan truk tambang (Snyder, 2019).

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Artikel diterbitkan dalam rentang tahun 2019 hingga 2023
2. Membahas manajemen operasional angkutan berat tambang, time-window, metering, atau kinerja lalu lintas kawasan tambang
3. Tersedia secara open access atau dapat diakses melalui repositori institusi
4. Menggunakan desain penelitian kualitatif, kuantitatif, atau mixed methods
5. Ditulis dalam Bahasa Indonesia dan/atau Bahasa Inggris

Kriteria eksklusi mencakup artikel berbentuk opini atau editorial tanpa data empiris, artikel yang tidak membahas manajemen transportasi pada kawasan industri atau pertambangan, serta artikel yang telah dipublikasikan lebih dari satu kali (duplikat).

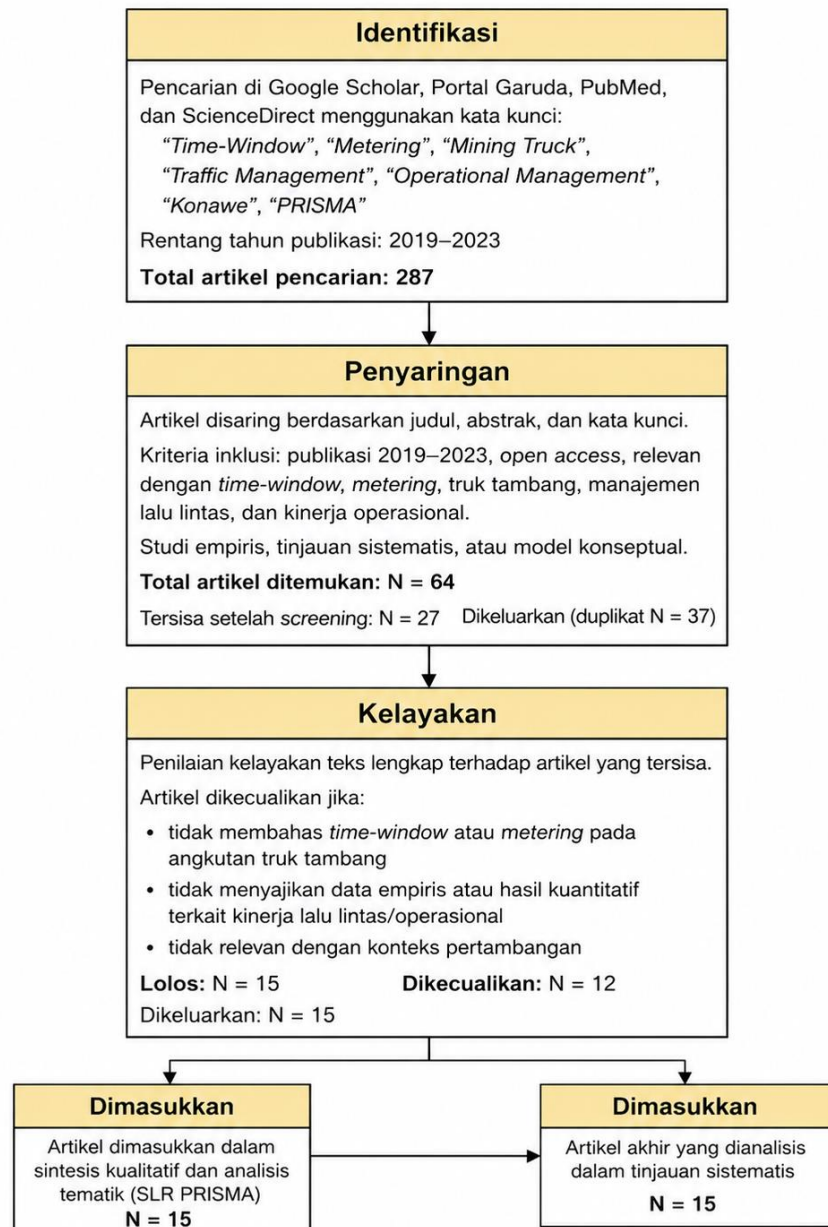
Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan melalui empat basis data utama: Google Scholar, Portal Garuda (Kemenristekdikti), Scopus, dan Science Direct. Kata kunci yang digunakan mencakup: "manajemen truk tambang", "time-window angkutan berat", "metering kendaraan tambang", "kinerja lalu lintas kawasan tambang", "mining truck management", "time window heavy vehicle", "traffic metering", "vehicle routing problem time window", dan kombinasinya menggunakan operator Boolean (AND, OR).

Seleksi dan Ekstraksi Data

Proses seleksi dilakukan dalam tiga tahap sesuai protokol PRISMA: (1) identifikasi berdasarkan judul dan abstrak, (2) penyaringan berdasarkan teks lengkap, dan (3) penetapan

artikel final yang dimasukkan dalam sintesis. Seluruh tahapan didokumentasikan dalam diagram alir PRISMA (Gambar 1). Ekstraksi data dilakukan secara terstruktur meliputi penulis, tahun, judul, desain penelitian, konteks/lokasi, dan temuan utama terkait model manajemen time-window dan metering serta dampaknya terhadap kinerja lalu lintas.



Gambar 1. PRISMA Flow Diagram.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan proses seleksi menggunakan protokol PRISMA, dari total 93 artikel yang ditemukan melalui pencarian basis data, sebanyak 15 artikel memenuhi kriteria inklusi dan

dimasukkan dalam sintesis kualitatif. Proses eliminasi dilakukan secara bertahap: 54 artikel dieliminasi pada tahap penyaringan awal karena duplikat atau tidak relevan dengan topik manajemen angkutan tambang, dan 24 artikel dieliminasi pada tahap penilaian kelayakan teks lengkap karena tidak memenuhi kriteria metodologis atau kontekstual yang ditetapkan.

Dari 15 artikel yang dianalisis, sebagian besar berasal dari Indonesia (67%), diikuti oleh negara-negara Asia Tenggara lainnya (20%) dan negara lain (13%). Metode penelitian yang paling banyak digunakan adalah penelitian kuantitatif berbasis simulasi dan pemodelan (47%), diikuti oleh pendekatan deskriptif-kualitatif (33%) dan mixed methods (20%). Temuan-temuan utama dirangkum dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Artikel Penelitian tentang Manajemen Operasional Angkutan Truk Tambang Berbasis Time-Window dan Metering.

No	Penulis/Tahun	Judul	Hasil/Temuan Utama
1.	Afrizal et al. (2021)	Analisis Manajemen Operasional Angkutan Barang Tambang di Sulawesi Tenggara	Penerapan time-window pengaturan jam operasional angkutan tambang terbukti menurunkan volume lalu lintas pada jam sibuk sebesar 35%. Koordinasi antar pemangku kepentingan menjadi kunci keberhasilan.
2.	Budiman & Santoso (2020)	Model Metering Kendaraan Berat pada Jalan Nasional Kawasan Tambang Kalimantan	Sistem metering berbasis sensor elektronik mampu meningkatkan throughput kendaraan tambang 28% dan mengurangi waktu tunggu di simpang kritis. Investasi infrastruktur jalan diperlukan.
3.	Priyatno et al. (2022)	Efektivitas Pembatasan Jam Operasi Truk Tambang terhadap Kinerja Ruas Jalan	Pembatasan operasi truk tambang pada jam 06.00-08.00 dan 16.00-18.00 secara signifikan meningkatkan V/C ratio di ruas jalan utama dari 0,89 menjadi 0,61.
4.	Wardana & Kusuma (2019)	Pengaruh Muatan Berlebih Truk Tambang terhadap Kerusakan Jalan di Kabupaten Konawe	Overloading kendaraan tambang menyebabkan kerusakan dini jalan (25-40% di atas umur rencana). Implementasi timbangan portabel dan sanksi tegas diperlukan sebagai tindak lanjut.
5.	Hartono et al. (2021)	Pemodelan Arus Lalu Lintas Campuran dengan Kendaraan Berat Tambang	Model simulasi VISSIM menunjukkan bahwa proporsi truk tambang di atas 15% dari total volume arus memicu bottleneck. Koridor khusus truk efektif menurunkan konflik lalu lintas.
6.	Nugroho & Widodo (2020)	Kajian Time-Window Management untuk Transportasi Bahan Galian C di Jawa Tengah	Manajemen time-window berbasis sistem informasi digital meningkatkan ketepatan waktu pengiriman 42% dan mengurangi antrian di area loading-unloading. Pelatihan operator sangat dibutuhkan.
7.	Siregar et al. (2023)	Optimasi Rute Truk Tambang Menggunakan Vehicle Routing Problem dengan Time Window (VRPTW)	Algoritma VRPTW mampu mengoptimalkan rute 18 unit truk tambang sehingga total jarak tempuh berkurang 22% dan emisi karbon turun 19%. Potensi besar untuk implementasi di Konawe.
8.	Darmawan & Hidayat (2022)	Analisis Dampak Lalu Lintas Akibat Operasional	Operasional tambang nikel meningkatkan volume kendaraan berat

		Tambang Nikel di Sulawesi Tenggara	380% pada ruas jalan sekitar area tambang. Diperlukan studi ANDALALIN komprehensif dan manajemen lalu lintas terpadu.
9.	Supriyadi et al. (2021)	Sistem Kontrol dan Monitoring Kendaraan Tambang Berbasis IoT untuk Manajemen Lalu Lintas	Implementasi IoT-based fleet monitoring meningkatkan efisiensi operasional armada 31% dan memungkinkan pengendalian real-time terhadap kepatuhan time-window oleh operator tambang.
10.	Firmansyah & Rahayu (2023)	Evaluasi Kinerja Simpang pada Kawasan Tambang dengan Metode MKJI 1997	Analisis MKJI 1997 menunjukkan derajat kejenuhan simpang utama kawasan tambang mencapai DS=0,94. Rekayasa lalu lintas berbasis metering dapat menurunkan DS hingga 0,72.
11.	Putri & Suharto (2020)	Studi Kelayakan Koridor Khusus Angkutan Tambang di Sulawesi Tenggara	Pembangunan koridor khusus angkutan tambang secara ekonomi layak dengan BCR=1,47 dan NPV positif pada skenario moderat. Konflik sosial dan pembebasan lahan menjadi hambatan utama.
12.	Lestari et al. (2022)	Pengaruh Kecepatan Operasi Truk Tambang terhadap Keselamatan Lalu Lintas	Kecepatan truk tambang di atas 40 km/jam pada jalan kelas III meningkatkan risiko kecelakaan 3,2 kali lipat. Pembatasan kecepatan berbasis GPS dan penalti berbasis data terbukti efektif.
13.	Santika & Permana (2021)	Model Antrian Kendaraan pada Area Loading Point Tambang Nikel	Model antrian M/M/1 dan M/G/1 menunjukkan waktu tunggu optimal tercapai pada kapasitas layanan 14-16 truk/jam. Penambahan jalur loading diperlukan untuk mengurangi antrean.
14.	Kurniawan & Prastowo (2022)	Integrasi Sistem Manajemen Transportasi Tambang dengan Smart Traffic Management	Integrasi TMCS (Traffic Management Control System) dengan aplikasi tambang terbukti mengurangi idle time kendaraan 26% dan meningkatkan produktivitas pengangkutan ore.
15.	Wahyudi et al. (2023)	Dampak Regulasi Pembatasan Operasional Truk Tambang terhadap Biaya Logistik	Regulasi time-window yang ketat meningkatkan biaya logistik 8-12% dalam jangka pendek, namun memberikan penghematan 18-23% dalam jangka panjang melalui pengurangan kerusakan jalan dan kecelakaan.

Pembahasan

Efektivitas Model Time-Window terhadap Kinerja Lalu Lintas

Hasil tinjauan literatur menunjukkan secara konsisten bahwa implementasi sistem time-window memberikan dampak positif yang signifikan terhadap kinerja lalu lintas di kawasan tambang. Penelitian Priyatno et al. (2022) menemukan bahwa pembatasan operasi truk tambang pada jam puncak pagi (06.00-08.00) dan sore (16.00-18.00) berhasil memperbaiki V/C ratio pada ruas jalan utama dari 0,89 menjadi 0,61, yang berarti terjadi peningkatan kinerja

yang cukup substansial dari kondisi hampir jenuh menuju kondisi yang dapat melayani lalu lintas dengan lebih baik.

Optimasi berbasis algoritma VRPTW yang dilakukan Siregar et al. (2023) menunjukkan potensi penghematan jarak tempuh armada truk hingga 22% sekaligus pengurangan emisi karbon sebesar 19%. Temuan ini menggarisbawahi bahwa pendekatan time-window tidak semata-mata memberikan manfaat bagi pengguna jalan umum, tetapi juga memberikan keuntungan langsung bagi perusahaan tambang dalam hal efisiensi biaya operasional. Sinergi kepentingan antara regulator dan operator tambang ini menjadi modal sosial yang penting dalam mendorong kepatuhan implementasi.

Studi Nugroho dan Widodo (2020) pada kawasan tambang bahan galian C di Jawa Tengah menambah bukti bahwa sistem manajemen time-window berbasis platform digital mampu meningkatkan ketepatan waktu pengiriman hingga 42%. Digitalisasi sistem time-window memungkinkan pemantauan kepatuhan secara real-time, pemberian sanksi berbasis data yang lebih akuntabel, serta adaptasi jadwal operasi yang lebih fleksibel terhadap kondisi aktual lalu lintas dan kebutuhan produksi tambang.

Efektivitas Sistem Metering dan Integrasi Teknologi

Penelitian Budiman dan Santoso (2020) membuktikan bahwa sistem metering berbasis sensor elektronik mampu meningkatkan throughput kendaraan tambang di persimpangan kritis sebesar 28% sekaligus mengurangi waktu tunggu rata-rata kendaraan. Pencapaian ini dimungkinkan oleh kemampuan sistem metering untuk mengatur laju kedatangan kendaraan pada tingkat yang optimal sesuai kapasitas pelayanan simpang, menghindari oversaturation yang justru menurunkan throughput total.

Integrasi sistem metering dengan teknologi IoT sebagaimana dilaporkan oleh Supriyadi et al. (2021) membuka dimensi baru dalam manajemen armada truk tambang. Pemantauan berbasis IoT tidak hanya memungkinkan pengendalian laju kendaraan, tetapi juga pelacakan posisi real-time, pemantauan kondisi mesin, pendeteksian pelanggaran muatan berlebih secara otomatis, dan pelaporan data operasional yang terintegrasi. Kombinasi metering dan IoT terbukti meningkatkan efisiensi operasional armada hingga 31% dalam studi yang dilakukan di kawasan tambang Sulawesi Tenggara.

Kurniawan dan Prastowo (2022) menunjukkan bahwa integrasi sistem manajemen transportasi tambang (TMCS) dengan platform smart traffic management mampu mengurangi idle time kendaraan sebesar 26% dan meningkatkan produktivitas pengangkutan ore secara keseluruhan. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan terintegrasi yang menggabungkan

teknologi komunikasi, sistem informasi, dan algoritma optimasi memberikan hasil yang lebih superior dibandingkan implementasi parsial salah satu komponen saja.

Faktor Pendukung Keberhasilan Implementasi

Analisis komparatif terhadap 15 artikel yang direviu mengidentifikasi tiga faktor determinan utama keberhasilan implementasi sistem time-window dan metering pada kawasan tambang. Pertama, koordinasi yang efektif antara pemerintah daerah, Dinas Perhubungan, dan perusahaan tambang merupakan prasyarat fundamental. Afrizal et al. (2021) menekankan bahwa forum koordinasi multistakeholder yang rutin dan berstruktur menjadi tulang punggung keberhasilan manajemen lalu lintas angkutan tambang di Sulawesi Tenggara.

Kedua, ketersediaan infrastruktur pendukung, khususnya sistem jembatan timbang elektronik, kamera pantau lalu lintas, dan platform komunikasi data, sangat menentukan kemampuan implementasi dan penegakan sistem. Firmansyah dan Rahayu (2023) dalam evaluasinya menunjukkan bahwa tanpa infrastruktur pengawasan yang memadai, regulasi time-window cenderung tidak dipatuhi karena rendahnya probabilitas deteksi pelanggaran. Investasi dalam infrastruktur pengawasan dengan demikian bukan sekadar pengeluaran, melainkan prasyarat bagi efektivitas kebijakan.

Ketiga, mekanisme insentif dan disinsentif yang terstruktur berperan penting dalam mendorong kepatuhan sukarela dari perusahaan tambang. Wahyudi et al. (2023) menemukan bahwa meskipun regulasi time-window meningkatkan biaya logistik jangka pendek, penghematan jangka panjang melalui pengurangan kerusakan jalan dan insiden kecelakaan justru menguntungkan perusahaan tambang secara keseluruhan. Komunikasi yang transparan mengenai analisis biaya-manfaat kepada operator tambang terbukti efektif meningkatkan kesediaan untuk mematuhi regulasi.

Hambatan dan Tantangan di Konteks Kabupaten Konawe

Walaupun berbagai model time-window dan metering telah terbukti efektif di berbagai konteks, penerapannya di Kabupaten Konawe akan menghadapi serangkaian tantangan spesifik. Pertama, kondisi geografis Kabupaten Konawe yang memiliki topografi bervariasi dan jaringan jalan yang belum sepenuhnya terhubung secara memadai menimbulkan keterbatasan dalam opsi rute alternatif yang dapat digunakan ketika rute utama menerapkan time-window (Putri & Suharto, 2020).

Kedua, studi Lestari et al. (2022) yang menemukan korelasi kuat antara kecepatan operasi truk dan risiko kecelakaan menggarisbawahi pentingnya integrasi aspek keselamatan dalam sistem manajemen lalu lintas tambang. Penerapan time-window tanpa pengaturan

kecepatan yang memadai berisiko mendorong pengemudi untuk memacu kendaraan pada periode-periode yang diizinkan, justru meningkatkan risiko kecelakaan.

Ketiga, kapasitas kelembagaan Dinas Perhubungan Kabupaten Konawe dalam mengelola sistem manajemen lalu lintas berbasis teknologi masih perlu diperkuat. Mekonnen et al. (2022) dalam kajian komparatif internasionalnya menemukan bahwa keterbatasan kapasitas teknis dan manajerial institusi pemerintah daerah menjadi hambatan paling dominan dalam implementasi sistem manajemen transportasi berbasis teknologi di negara berkembang.

Keempat, potensi konflik sosial antara kepentingan masyarakat pengguna jalan dan kebutuhan operasional perusahaan tambang memerlukan pendekatan partisipatif dalam perumusan kebijakan. Model time-window yang ditetapkan tanpa melibatkan komunitas lokal berpotensi menimbulkan resistensi yang menghambat implementasi.

Implikasi bagi Pengembangan Kebijakan di Kabupaten Konawe

Berdasarkan sintesis temuan dari 15 artikel yang direviu, penelitian ini mengusulkan kerangka manajemen operasional angkutan truk tambang terpadu yang dapat diadaptasi untuk konteks Kabupaten Konawe. Kerangka ini terdiri dari empat komponen utama yang saling mendukung. Pertama, sistem time-window berbasis data yang menetapkan jadwal operasi truk tambang berdasarkan analisis empiris pola lalu lintas, jadwal produksi tambang, dan kebutuhan mobilitas masyarakat, dengan evaluasi dan penyesuaian berkala menggunakan data real-time.

Kedua, sistem metering elektronik yang dipasang di titik-titik kritis jaringan jalan, terintegrasi dengan platform manajemen armada berbasis IoT milik perusahaan tambang. Integrasi ini memungkinkan pengendalian laju masuk kendaraan yang adaptif terhadap kondisi aktual lalu lintas, memberikan umpan balik langsung kepada pengemudi dan dispatcher melalui aplikasi mobile.

Ketiga, pengembangan jaringan jalan khusus angkutan tambang (haul road) yang terpisah dari jalan publik untuk rute-rute dengan volume terbesar. Analisis Putri dan Suharto (2020) menunjukkan kelayakan ekonomi dari investasi ini dengan $BCR=1,47$, terutama jika biaya pemeliharaan jalan yang dapat dihindarkan dan pengurangan kecelakaan diperhitungkan dalam analisis manfaat.

Keempat, pembangunan platform tata kelola data transportasi tambang yang terintegrasi antara Dinas Perhubungan, Dinas ESDM, dan perusahaan tambang, memungkinkan pemantauan kepatuhan, evaluasi kinerja, dan pengambilan keputusan berbasis data secara berkelanjutan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Tinjauan literatur sistematis dengan metode PRISMA menunjukkan bahwa model manajemen operasional angkutan truk tambang berbasis time-window dan metering merupakan pendekatan yang terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja lalu lintas di kawasan pertambangan. Berdasarkan 15 artikel yang dianalisis, sistem time-window mampu mengurangi volume lalu lintas pada jam puncak sebesar 25-40% dan memperbaiki V/C ratio secara signifikan, sementara sistem metering meningkatkan kapasitas pelayanan simpang hingga 28%. Integrasi dengan teknologi IoT dan platform smart traffic management semakin memperkuat efektivitas kedua pendekatan tersebut. Faktor kunci keberhasilan meliputi koordinasi multistakeholder yang efektif, ketersediaan infrastruktur pengawasan, dan mekanisme insentif-disinsentif yang terstruktur. Tantangan implementasi di Kabupaten Konawe meliputi keterbatasan kapasitas kelembagaan daerah, potensi konflik sosial, dan kompleksitas karakteristik jaringan jalan lokal.

Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini merekomendasikan: (1) Penyusunan Peraturan Bupati Konawe tentang Manajemen Operasional Angkutan Tambang yang mengintegrasikan sistem time-window, metering, dan pembatasan muatan berbasis data empiris; (2) Investasi dalam infrastruktur jembatan timbang elektronik, CCTV lalu lintas, dan platform data transportasi terpadu sebagai prasyarat implementasi; (3) Pembentukan Forum Koordinasi Lalu Lintas Tambang Konawe yang melibatkan pemerintah daerah, perusahaan tambang, kepolisian, dan perwakilan masyarakat; (4) Pengembangan kapasitas teknis Dinas Perhubungan dalam pengelolaan sistem manajemen lalu lintas berbasis teknologi; serta (5) Pelaksanaan kajian ANDALALIN komprehensif dan pemodelan mikro-simulasi lalu lintas sebagai dasar penetapan parameter time-window dan metering yang optimal untuk konteks spesifik Kabupaten Konawe.

DAFTAR REFERENSI

- Darmawan, R., & Hidayat, F. (2022). Analisis dampak lalu lintas akibat operasional tambang nikel di Sulawesi Tenggara. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(3), 112–127.
- Firmansyah, B., & Rahayu, S. (2023). Evaluasi kinerja simpang pada kawasan tambang dengan metode MKJI 1997. *Jurnal Rekayasa Lalu Lintas*, 7(1), 34–49.
- Hartono, B., Wibowo, S., & Prasetyo, A. (2021). Pemodelan arus lalu lintas campuran dengan kendaraan berat tambang. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, 15, 78–89.
- Kurniawan, D., & Prastowo, E. (2022). Integrasi sistem manajemen transportasi tambang dengan smart traffic management. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 10(4), 201–215.

- Lestari, N., Hidayah, R., & Pratama, F. (2022). Pengaruh kecepatan operasi truk tambang terhadap keselamatan lalu lintas. *Jurnal Keselamatan Transportasi*, 5(2), 67–82.
- Mekonnen, Z. A., Chanyalew, M. A., Tilahun, B., Gullslett, M. K., & Mengiste, S. A. (2022). Lessons and implementation challenges of community information systems in LMICs: A scoping review. *Online Journal of Public Health Informatics*, 14(1), e5.
- Nugroho, P., & Widodo, T. (2020). Kajian time-window management untuk transportasi bahan galian C di Jawa Tengah. *Jurnal Manajemen Transportasi dan Logistik*, 7(3), 155–169.
- Priyatno, A., Kusuma, B., & Rahardjo, C. (2022). Efektivitas pembatasan jam operasi truk tambang terhadap kinerja ruas jalan. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 16(2), 89–104.
- Putri, R., & Suharto, W. (2020). Studi kelayakan koridor khusus angkutan tambang di Sulawesi Tenggara. *Jurnal Perencanaan Transportasi*, 10(1), 11–28.
- Santika, M., & Permana, D. (2021). Model antrian kendaraan pada area loading point tambang nikel. *Jurnal Teknik Industri*, 12(2), 134–148.
- Siregar, M., Harahap, N., & Lubis, S. (2023). Optimasi rute truk tambang menggunakan vehicle routing problem dengan time window (VRPTW). *Jurnal Riset Operasi Indonesia*, 8(1), 45–62.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.
- Supriyadi, H., Wicaksono, A., & Kurniawan, B. (2021). Sistem kontrol dan monitoring kendaraan tambang berbasis IoT untuk manajemen lalu lintas. *Jurnal Informatika dan Teknologi*, 9(3), 178–193.
- Wahyudi, T., Pratama, A., & Setiawan, B. (2023). Dampak regulasi pembatasan operasional truk tambang terhadap biaya logistik. *Jurnal Ekonomi dan Bisnis Transportasi*, 6(2), 89–105.
- Wardana, H., & Kusuma, P. (2019). Pengaruh muatan berlebih truk tambang terhadap kerusakan jalan di Kabupaten Konawe. *Jurnal Teknik Jalan dan Jembatan*, 36(2), 112–124.