

ANALISIS DAMPAK LALU LINTAS AKIBAT DISRUPSI PADA SAAT ACARA BESAR DENGAN MENGGUNAKAN MODEL SIMULASI MIKRO (TRAFFIC IMPACT ANALYSIS DUE TO DISRUPTION DURING MAJOR EVENTS USING MICRO-SIMULATION MODEL)

Febri Zukhruf^{1*)}, Andrean Maulana²⁾, Taufiq Suryo Nugroho¹⁾, Oka Purwanti²⁾, Satya Ananda Santoso¹⁾, Robby Septiandi Khaerul Ikhsan¹⁾

¹⁾Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

²⁾Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung, Indonesia

^{*)}febri.zukhruf@itb.ac.id

Diterima: 12 Agustus 2023; direvisi: 26 November 2024; disetujui: 01 Desember 2024;

ABSTRAK

Makalah ini membahas kinerja lalu lintas pada kondisi terdapat acara besar dan kejadian disrupsi pada jaringan jalan. Lalu lintas pada jaringan jalan dimodelkan dengan berbasiskan model simulasi mikro dengan mengonsiderasikan kondisi tanpa adanya disrupsi, saat terjadi disrupsi, serta kondisi disrupsi dengan adanya skema mitigasi. Simulasi yang digunakan pada makalah ini dapat memodelkan perilaku berkendara pada level mikro (per kendaraan) sehingga dapat digunakan untuk menyimulasikan interaksi antarkendaraan serta kinerja lalu lintas dalam merespon perubahan kapasitas jalan akibat disrupsi. Model diujicobakan pada jaringan jalan yang mengadakan acara besar keolahragaan dengan potensi terjadi kejadian bencana alam. Arus lalu lintas diestimasi dengan didasarkan informasi penyelenggaraan yang sebelumnya pernah berlangsung. Hasil pemodelan simulasi mikro menunjukkan bahwa skenario disrupsi dapat menurunkan kinerja jaringan jalan hingga 43% dengan tundaan total dapat naik hingga lima kalinya. Sementara itu, skema mitigasi untuk mengurangi potensi disrupsi memiliki peran untuk menjaga performa lalu lintas tetap baik. Kerangka kerja pada makalah ini berpotensi digunakan menilai dampak kejadian disrupsi terhadap lalu lintas saat acara besar. Selain itu, alternatif penanganan dapat dievaluasi menggunakan kerangka kerja dalam makalah ini.

Kata Kunci: acara olahraga, disrupsi jalan, model simulasi mikro, kinerja lalu lintas, jaringan jalan

ABSTRACT

This paper discusses traffic performance under major and disruption events on the road network. Traffic on the road network is modelled based on a microsimulation model by considering conditions without disruption, with disruption, and with disruption accompanied by the mitigation schemes. The simulation model used in this paper models the driving behaviour at the micro level that can be used to simulate interactions between vehicles and traffic performance in response to changes in road capacity due to disruption. The model is tested on a road network with significant sports events and potential natural disasters. Traffic flow is estimated based on information from previous events. The results of the microsimulation modelling show that the disruption scenario can reduce road network performance by up to 43%, with total delays that can increase up to five times. In addition, the mitigation schemes to reduce the disruption contribute to maintaining good traffic performance. This paper's framework can potentially be used to assess the impact of traffic disruptions during significant events. Furthermore, it can evaluate alternative strategies to overcome the disruption.

Keywords: sport event, road disruption, microsimulation model, traffic performance, road network

PENDAHULUAN

Kejadian disrupsi pada jaringan jalan pada dasarnya merupakan hal yang secara alami dapat terjadi. Disrupsi tersebut dapat diakibatkan oleh bencana alam (e.g., Jiménez-Ramos *et al.* 2023; Zukhruf *et al.* 2022), kecelakaan (Yao and Chen, 2022a), hingga rusaknya *traffic control* (Rasheed *et al.*, 2022). Kejadian disrupsi ini dapat memaksa pengelola jalan untuk melakukan pengoperasian sebagian lajur hingga penutupan seluruh lajur di jalan.

Pada kondisi arus lalu lintas normal, kejadian disrupsi ini dapat menyebabkan penurunan kinerja jaringan jalan secara signifikan karena adanya penurunan kapasitas. Kinerja lalu lintas berpotensi semakin memburuk jika terjadi di saat kondisi arus tinggi, baik saat jam puncak lalu lintas harian maupun karena adanya acara yang mendorong peningkatan arus lalu lintas. Kajian terkait peningkatan arus lalu lintas karena acara telah banyak dikaji, baik dalam perspektif dampak polusi (Wang and Xie, 2009), peningkatan suhu udara (Cai *et al.*, 2017), maupun kebutuhan manajemen lalu lintas (Li and Guo, 2016). Terlepas dari banyaknya kajian terkait lalu lintas pada acara besar, tidak banyak kajian lalu lintas yang membahas aspek disrupsi saat acara besar berlangsung, seperti yang dibahas pada makalah ini.

Makalah ini mengusulkan kajian terkait manajemen lalu lintas saat acara besar berlangsung dengan mempertimbangkan adanya disrupsi pada jaringan jalan. Kajian akan mendasarkan kepada model simulasi mikro yang secara ekstensif telah digunakan untuk manajemen lalu lintas. Meskipun demikian, sebagian besar kajian dengan model simulasi mikro lalu lintas hanya mengonsiderasikan jam puncak harian (Zukhruf *et al.*, 2010) tanpa pertimbangan disrupsi ataupun kejadian acara besar.

Pemodelan lalu lintas dengan menggunakan simulasi mikro sudah banyak dilakukan, baik dalam tataran riset maupun dalam konteks manajemen lalu lintas (Dulgar *et al.*, 2019; Shahri *et al.*, 2022). Kelebihan dari penggunaan model simulasi mikro adalah model ini mampu menduplikasi kondisi lapangan dalam level individual dan

memodelkan kompleksitas interaksi antarindividu tersebut.

Kelebihan model simulasi mikro sering digunakan dalam studi terkait peningkatan efisiensi jaringan jalan, baik dalam pengukuran kinerja parameter makro seperti kapasitas (Kumar *et al.*, 2022; Nian *et al.*, 2022), peninjauan terhadap perilaku pengendara (Khan *et al.*, 2022; Kumar *et al.*, 2022; Makridis and Kouvelas, 2023; Wang and Jin, 2023) maupun optimasi persinyalan lalu lintas (Celtek and Durdu, 2022; Haddad *et al.*, 2022; Stevanovic *et al.*, 2008).

Sedikit studi menggunakan simulasi mikro untuk mengevaluasi kondisi lalu lintas saat terjadi disrupsi. Disrupsi merujuk pada risiko bencana yang mungkin terjadi seperti banjir, longsor, gempa, atau tsunami. Pengenalan disrupsi pada studi tentang lalu lintas menjadi penting untuk menjamin ketahanan (*resilience*) jaringan jalan setelah terjadi disrupsi (Yao and Chen 2022b). Resiliensi ini akan sangat bergantung pada tipologi jaringan jalan, lokasi disrupsi, serta karakter dari kebutuhan pergerakan yang harus dilayani (Perez and Pereira, 2021). Aspek-aspek ini kemudian dapat ditinjau dengan menggunakan pendekatan simulasi mikro. Selain itu, penggunaan simulasi mikro pada saat kejadian disrupsi mampu menangkap adanya perbedaan informasi yang mungkin diperoleh orang yang terdampak (Xie *et al.*, 2023).

Hal lain yang dikaji pada makalah ini adalah pemodelan simulasi mikro pada saat terjadi acara seperti pertandingan olahraga, ataupun konser. Dalam level perencanaan dan kebijakan, hadirnya acara di suatu tempat dapat dilihat sebagai kesempatan untuk meningkatkan kapasitas dari transportasi lokal yang pada akhirnya akan berdampak positif pada masyarakat lokal (Kassens-Noor, 2019). Namun, setiap acara mempunyai tantangan sendiri dalam melakukan manajemen lalu lintas karena *demand* cenderung berapa pada level ekstrem tinggi, dengan waktu kedatangan yang tidak tentu (Zagidullin, 2017). Karakteristik lalu lintas pada acara yang seperti ini cocok untuk dimodelkan dengan simulasi mikro mengingat keacakan pengambilan keputusan dari *demand* yang dilayani.

Berdasarkan studi pustaka, makalah ini ingin mengisi literatur dengan melakukan investigasi terhadap kondisi lalu lintas ketika terjadi disrupsi pada acara besar dengan menggunakan pendekatan simulasi mikro. Pendekatan ini di rasa mampu menjembatani variasi keputusan yang diambil oleh pengemudi pada saat terjadi acara secara mikro. Dengan menggunakan model simulasi mikro ini diharapkan didapatkan pemahaman lebih baik terkait kondisi lalu lintas ketika saat acara besar terjadi peristiwa disrupsi.

Bagian selanjutnya dari makalah ini berisi studi literatur yang dilanjutkan dengan kerangka metodologis untuk mencapai tujuan penelitian. Studi kasus pada jaringan jalan di sekitar Sirkuit Pertamina Mandalika, kemudian disajikan pada bagian keempat diikuti dengan kesimpulan pada bagian akhir.

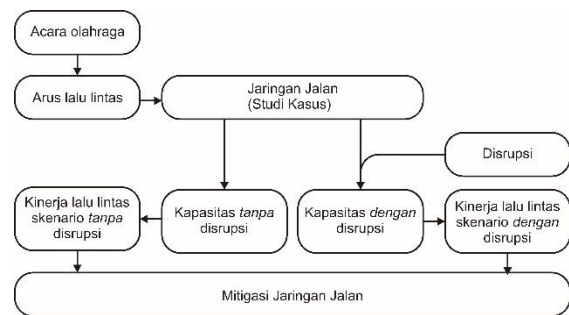
HIPOTESIS

Investigasi terhadap kondisi lalu lintas dilakukan untuk mengetahui pengaruh disrupsi pada pengemudi secara mikro. Dengan adanya disrupsi, maka akan berpengaruh terhadap jumlah kendaraan yang masuk ke dalam sistem dan kecepatan para pengemudi.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bermaksud untuk memodelkan dampak disrupsi kepada jaringan jalan dengan mengonsiderasikan adanya *acara* besar dengan lalu lintas kendaraan tinggi. Gambar 1 memberikan ilustrasi kerangka konseptual dari penelitian ini. Bagian pertama yang penting untuk dilaksanakan adalah melakukan identifikasi atas informasi arus lalu lintas yang dibangkitkan dari adanya acara besar. Arus ini kemudian dibebankan pada jaringan jalan di sekitar acara tersebut, baik dalam kondisi tanpa maupun dengan disrupsi. Arus lalu lintas pada saat acara akan memiliki karakteristik spesifik berupa memiliki waktu puncak sesaat sebelum dan sesaat sesudah acara tersebut berlangsung, yang membutuhkan manajemen lalu lintas yang holistik. Pada makalah ini acara olahraga yang digunakan sebagai studi kasus adalah acara olahraga balap motor di Sirkuit Mandalika.

Kejadian disrupsi berpotensi menurunkan kapasitas dari jaringan jalan yang dibebani arus dari acara tersebut. Penurunan kapasitas ini secara langsung akan memperburuk kinerja dari jaringan tersebut. Oleh karena itu, proses mitigasi penting untuk dilakukan dengan mengonsiderasikan kondisi disrupsi ini. Mitigasi ini dapat berupa penilaian risiko dampak disrupsi dan alternatif penanganannya. Sebagai contoh, jika dari hasil penilaian risiko sebuah segmen jalan berpotensi longsor maka dilakukan perkuatan lereng.



Gambar 1. Kerangka Konseptual Penelitian

Untuk memodelkan arus lalu lintas serta manajemen lalu lintas, makalah ini menggunakan model berbasis simulasi mikro. Model simulasi mikro dibuat berdasarkan perilaku *lane changing* dan *car-following* (Gipps, 1986, 1981). *Car-following* adalah perilaku kendaraan dalam mengikuti kendaraan yang ada di depannya terkait keputusan untuk melakukan percepatan dan/atau perlambatan. *Lane changing* adalah perilaku kendaraan dalam mengambil keputusan berganti lajur. Kedua perilaku ini bersifat unik pada level individu dan saling berinteraksi. Dengan demikian, model simulasi mikro diharapkan dapat merepresentasikan kinerja lalu lintas yang mendekati kondisi aktual.

Model simulasi mikro sudah banyak digunakan, baik untuk studi kasus penilaian kinerja lalu lintas (Maulana, 2017; Maulana and Aldriansyah, 2020; Maulana and Nugraha, 2019; Zukhruf et al., 2010), pemuktahiran cara kalibrasi model simulasi mikro (Azam et al., 2023) maupun uji coba kasus mitigasi bencana (Raju and Farah, 2021).



a) Model Lajur Tanpa Disrupsi



b) Model Lajur Dengan Disrupsi

Gambar 2. Ilustrasi Konfigurasi Lajur Tanpa dan Dengan Disrupsi.

Model simulasi mikro terdiri atas jaringan jalan, pergerakan kendaraan, dan perilaku kendaraan. Bentuk jaringan jalan terdiri atas ruas dan simpang. Ketika terjadi peristiwa disrupsi, lajur jalan raya yang digunakan dapat terganggu, baik dalam kondisi lajur tersebut tertutup secara penuh maupun hanya sebagian saja. Dalam konteks model simulasi mikro, kondisi ini dapat dimodelkan secara sederhana seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2. Lajur yang terganggu pada akhirnya akan menyebabkan penurunan kinerja lalu lintas. Data pergerakan kendaraan dapat diperoleh dari informasi lalu lintas, baik primer maupun sekunder. Pada penelitian ini, pengaturan perilaku kendaraan dilakukan dengan menggunakan hasil kalibrasi pada penelitian terdahulu (Azam *et al.*, 2023; Duraku *et al.*, 2019; Irawan and Putri, 2017; Liu, 2016). Oleh karena itu, pada makalah ini skenario yang dielaborasi adalah skenario jaringan jalan tanpa disrupsi, dengan disrupsi serta jika dilakukan proses mitigasi. Penjelasan lengkap dari ketiga skenario ini kemudian disampaikan pada bagian berikutnya.

Beragam alat bantu dapat digunakan untuk menjalankan model simulasi mikro ini, seperti Paramics, CORSIM dan VISSIM (Dowling *et al.*, 2004; Vortisch, 2014; Wunderlich *et al.*, 2019). Secara spesifik model simulasi mikro akan menggunakan perangkat lunak PTV Vissim. Perangkat ini mampu memodelkan perilaku kendaraan secara mikro (i.e., perkendaraan), termasuk proses interaksinya dengan kendaraan lain, infrastruktur fisik (i.e., jalan), ataupun sarana pengatur lalu lintas (i.e., *traffic light*, *priority rules*). Selain itu adanya unsur keacakan dalam

berlalu lintas dapat pula dikonsiderasi di dalam perangkat lunak ini, termasuk Vissim menyediakan akses untuk mengambil luaran model persatuan waktu tertentu.

Uji Coba Model pada Jaringan Jalan

Kerangka penelitian yang diusulkan dan model simulasi mikro kemudian diuji coba pada jaringan jalan aktual di sekitar acara olahraga, secara spesifik di Sirkuit Mandalika (lihat Gambar 3). Sirkuit ini terletak di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika yang berada di Kabupaten Lombok Tengah, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Terdapat total 15 ribu pengunjung yang datang dan mengikuti acara olahraga dalam waktu tiga hari.

Perhelatan di sirkuit Mandalika menyita banyak perhatian. Lokasi ini juga menyimpan potensi disrupsi. Badan Nasional Penanggulangan Bencana Republik Indonesia mengidentifikasi beberapa indeks risiko bencana di Kabupaten Lombok Tengah di antaranya adalah gempa, tsunami, gunung api, dan longsor (BNBP, 2023). Beberapa fakta terkait risiko ini pun pernah terekam di media cetak, seperti adanya i) gempa berkekuatan 7 SR yang melanda Lombok pada Agustus 2018, ii) banjir di jalan depan Sirkuit Mandalika, hingga iii) terjadi longsor pada Bukit Bypass (IDN Times, 2022).

Oleh karena itu, makalah ini menggunakan jaringan jalan di sekitar sirkuit Mandalika sebagai sarana uji coba model. Jaringan ini dimodelkan dengan menggunakan 198 *link* dan 38 *node*, serta kebutuhan pergerakan di estimasi saat terjadi acara

olahraga dengan lokasi asal dan tujuan terlihat pada Gambar 4.

Dengan mendasarkan fokus kajian kepada dampak disrupsi ketika terjadi acara olahraga, makalah ini menggunakan tiga skenario utama (lihat pula Gambar 3), yaitu sebagai berikut.

- Skenario jaringan jalan saat terjadi acara olahraga tanpa disrupsi(Lihat Gambar 3a);

- Skenario jaringan jalan saat terjadi acara olahraga dengan disrupsi masif (i.e., skenario disrupsi) (Lihat Gambar 3b);
- Skenario jaringan jalan dengan disrupsi melalui skema mitigasi (i.e., perkuatan lereng sekitar badan jalan untuk mengurangi potensi longsor) (Lihat Gambar 3c).



a) Jaringan Jalan untuk Uji Coba Model

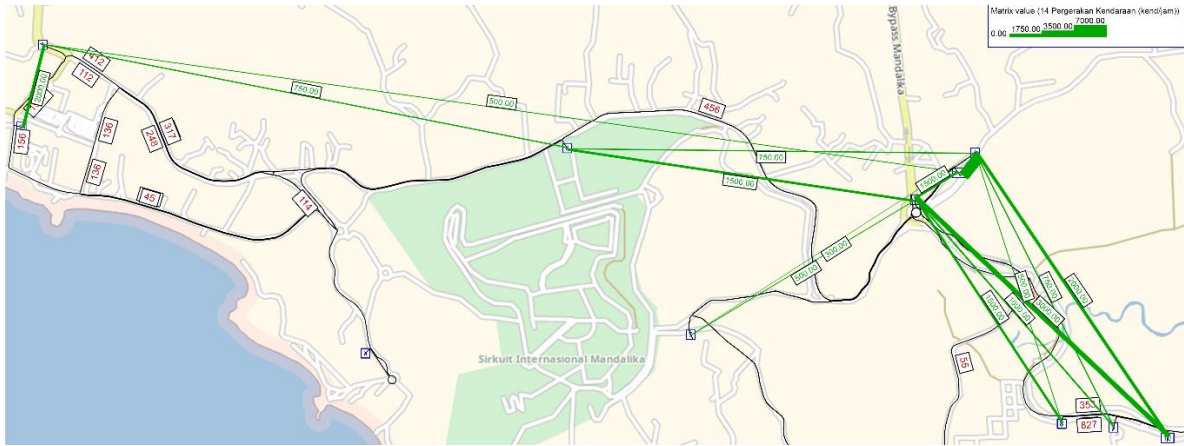


b) Lokasi Potensi Disrupsi Kinerja Tanpa Ada Mitigasi



c) Lokasi Potensi Disrupsi Kinerja Setelah Ada Mitigasi

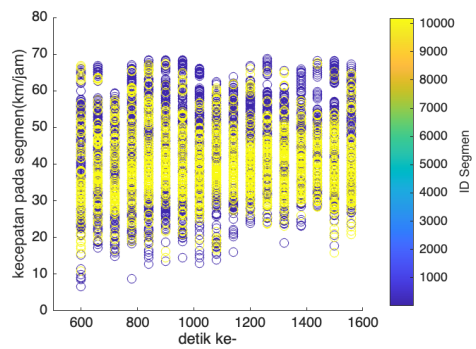
Gambar 3. Jaringan Jalan dilakukan Uji Coba



Gambar 4. Pasangan Asal Tujuan Pergerakan

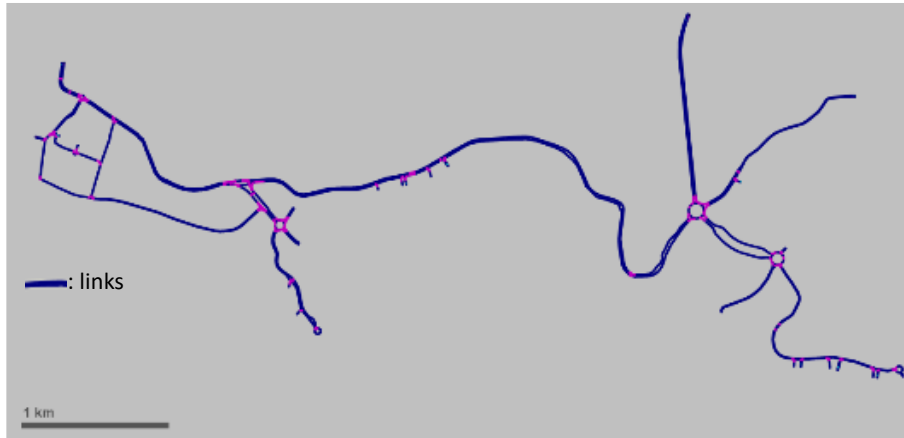
Skenario disruptsi mengasumsikan bahwa terjadi longsor yang menyebabkan tiga titik badan jalan tertutup (yang tersaji pada Gambar 3b) dengan adanya pengurangan lajur menjadi dua lajur (bentuk pengurangan tersaji pada Gambar 2) sepanjang 172 m. Sementara itu, pada skenario mitigasi, diasumsikan bahwa dilakukan proses perkuatan sekitar badan jalan sehingga jumlah lokasi yang mengalami longsor berkurang hanya satu titik badan jalan saja (lihat Gambar 3c).

Skenario disruptsi ini kemudian direpresentasikan dalam model dengan melakukan pengurangan lebar dan kecepatan kendaraan (lihat Gambar 5). Kinerja jaringan jalan secara visual pada saat kondisi tanpa disruptsi, dengan disruptsi dan dengan skema mitigasi dapat dilihat pada Gambar 5. Pada kondisi tanpa disruptsi, kecepatan jaringan secara visual memiliki warna oranye (≤ 30 km/jam) hingga hijau (≤ 80 km/jam). Sementara itu, ketika terjadi disruptsi, secara visual gradasi warna berubah menjadi warna merah muda (≤ 10 km/jam) hingga hijau muda (≤ 60 km/jam) (Gambar 5 b). Selain itu, mitigasi yang dilakukan berpotensi meningkatkan kecepatan jaringan (i.e, gradasi warna merah hingga hijau muda).

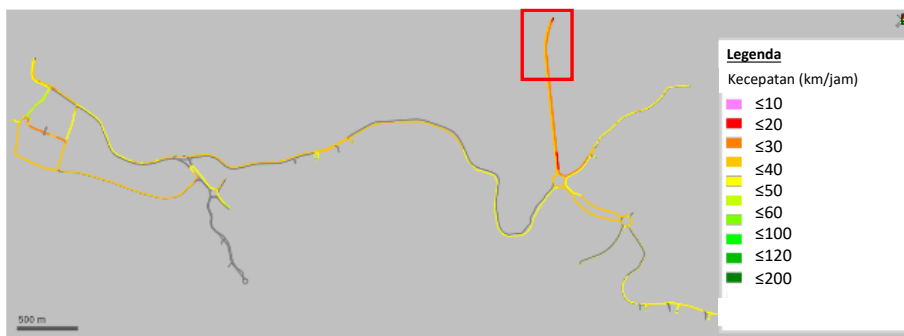


Gambar 6. Kecepatan Pada Segmen Jalan Per Waktu

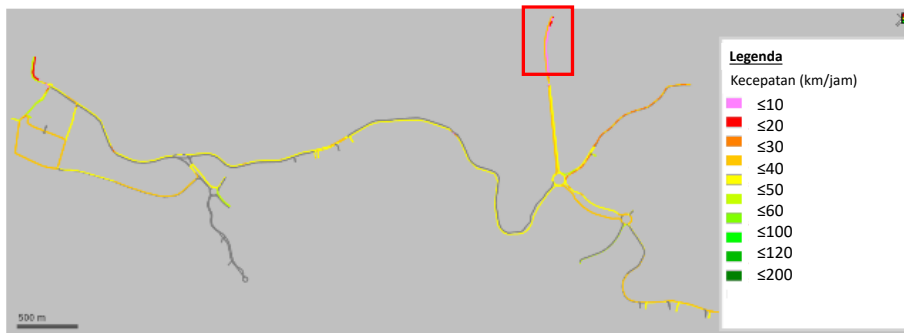
Bagian selanjutnya dari makalah ini mengelaborasi hasil pemodelan, baik saat belum terjadi disruptsi maupun saat telah terjadi disruptsi. Karakteristik model simulasi mikro yang dapat menggambarkan kinerja pada setiap segmen pada satuan waktu tertentu (lihat Gambar 6) memberikan peluang untuk menganalisis kinerja jalan secara distributif. Gambar 7 memberikan ilustrasi total tundaan yang terjadi pada jaringan per menit. Parameter ini dihitung dengan mengalikan jumlah kendaraan dengan tundaan yang terjadi pada setiap kendaraan. Secara jelas dapat terlihat adanya disruptsi membuat tundaan di jaringan semakin besar. Pada kondisi tanpa disruptsi, maksimum total tundaan yang terjadi hanya mencapai 100 menit, sementara pada skenario disruptsi, nilai maksimum total tundaan dapat mencapai 500 menit. Dengan membandingkan total tundaan yang terjadi pada skenario disruptsi dan mitigasi, dapat terlihat pula bahwa adanya proses mitigasi dapat berpotensi menurunkan tundaan yang dialami oleh kendaraan yang berada dalam jaringan.



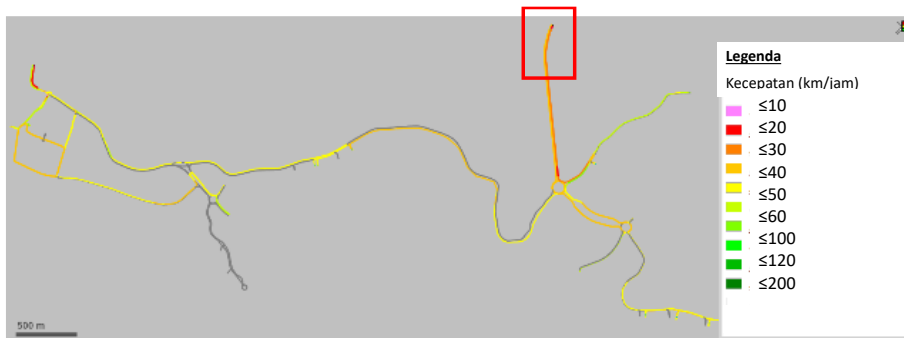
(a) Model Jaringan Jalan



(b) Kinerja Jaringan Jalan Tanpa Disrupsi

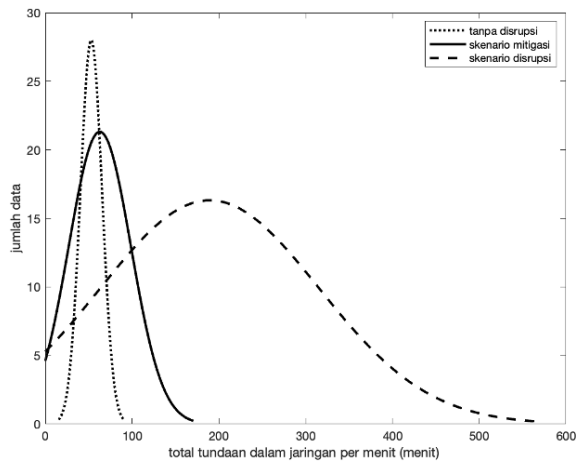


(c) Kinerja Jaringan Jalan Dengan Disrupsi



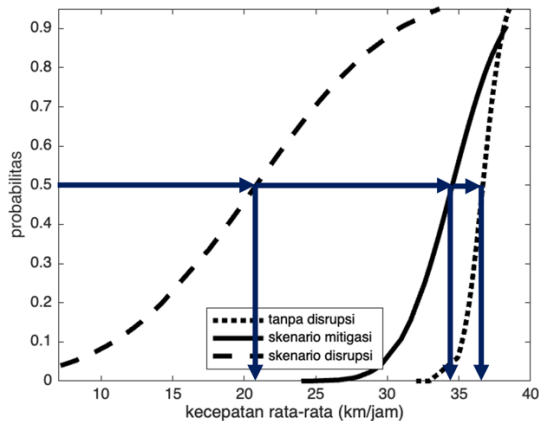
(d) Kinerja jaringan jalan terdisrupsi dengan skema mitigasi

Gambar 5. Kinerja Jaringan Jalan Secara Visual



Gambar 7. Total Tundaan Dalam Jaringan Per Menit

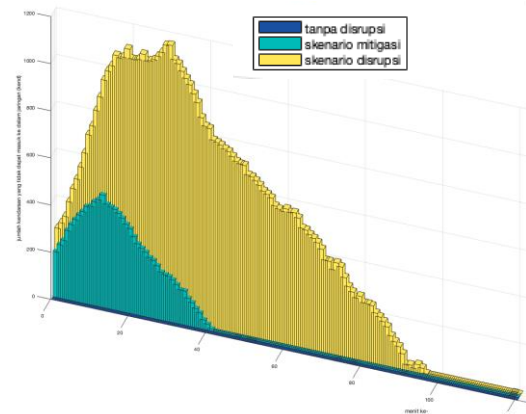
Gambar 8 memberikan gambaran penurunan kinerja dari jaringan jalan akibat adanya disrupsi. Adanya disrupsi memaksa pengguna jalan untuk menurunkan kecepatan secara signifikan. Sebagai contoh, pada skenario disrupsi, 50% pengendara memiliki probabilitas hanya mampu memacu kendaraan hingga 21 km/jam, jauh berbeda dengan skenario tanpa disrupsi (i.e., 37 km/jam). Sementara itu, adanya proses mitigasi berperan mengurangi potensi penurunan kecepatan saat terjadi disrupsi (i.e., 34 km/jam). Oleh karena itu, proses mitigasi untuk mengurangi potensi disrupsi menjadi penting untuk dilaksanakan.



Gambar 8. Distribusi Kumulatif Kecepatan

Bagian lain yang umum terjadi pada kondisi disrupsi adalah adanya kendaraan yang akhirnya tidak dapat mencapai tujuan yang dituju karena performa jaringan jalan yang sangat buruk. Kondisi ini dapat terlihat jelas pada Gambar 9. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada kondisi tanpa disrupsi, tidak terlihat adanya kendaraan yang tertahan diluar

jaringan. Sementara itu, pada skenario disrupsi terdapat sejumlah besar kendaraan yang tidak dapat masuk ke dalam jaringan, karena kondisi lalu lintas di jaringan jalan yang buruk. Sebagai ilustrasi, jaringan ini membebankan 5.600 kendaraan, sementara pada kondisi disrupsi, terdapat hingga 1.162 kendaraan yang tidak dapat masuk ke dalam jaringan jalan.



Gambar 9. Distribusi Kendaraan yang tidak dapat masuk ke Jaringan

PEMBAHASAN

Pada kondisi tanpa disrupsi (skenario 1), kinerja lalu lintas hasil model terbilang rendah (nilai kecepatan < 37 km/jam dan tundaan maksimal 100 menit). Mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2023, setidaknya kecepatan di jalan nasional dapat mencapai 60 km/jam. Jika terdapat kejadian longsor, yang berdampak terhadap pengurangan kapasitas jalan (skenario 2), kinerja lalu lintas menjadi semakin rendah (nilai kecepatan < 10 km/jam dan tundaan maksimal 500 menit). Lebih spesifik lagi, rata-rata pengendara mengalami penurunan kecepatan dari 37 km/jam (tanpa disrupsi) menjadi 21 km/jam (saat disrupsi) dan terdapat 5.600 kendaraan yang tertahan di luar wilayah studi. Skenario mitigasi yang direncanakan berupa perkuatan lereng (skenario 3) perlu dilakukan segera untuk mengembalikan kinerja lalu lintas seperti kondisi semula. Terjadi peningkatan kinerja lalu lintas setelah diterapkan perkuatan lereng, dengan indikator peningkatan kinerja lalu lintas (nilai kecepatan < 30 km/jam) dan tundaan maksimal 180

menit), rata-rata pengendara dapat meningkatkan kecepatan dari 21 km/jam (saat disrupsi) menjadi 34 km/jam (setelah perkuatan lereng) dan mengurangi jumlah kendaraan yang tertahan, dari 5.600 kendaraan menjadi 1.162 kendaraan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Makalah ini membahas kinerja jaringan jalan saat terjadi acara olahraga disertai dengan kejadian disrupsi. Kondisi tersebut dimodelkan dengan menggunakan pendekatan simulasi mikro dengan mengonsiderasikan kondisi tanpa disrupsi, dengan disrupsi serta dengan skema mitigasi. Hasil pemodelan menunjukkan adanya penurunan kinerja secara signifikan ketika terjadi disrupsi jika dibandingkan kondisi tanpa disrupsi. Adanya disrupsi dapat menurunkan kemampuan jaringan untuk melayani kecepatan hingga 43,4% dengan potensi tundaan meningkat hingga 5 kalinya. Saat terjadi disrupsi, kendaraan tidak dapat masuk ke dalam jaringan untuk mencapai tujuannya karena kinerja jaringan yang sangat buruk. Kondisi ini pun dapat terlihat dari hasil pemodelan, pada saat kendaraan yang tidak dapat masuk ke dalam jaringan dapat mencapai 20% dari permintaan yang dibebankan untuk memasuki jaringan jalan. Dalam rangka mengurangi dampak dari disrupsi ini penting untuk melakukan mitigasi sebelumnya, hasil pemodelan menunjukkan bahwa proses mitigasi dalam rangka mengurangi potensi disrupsi dapat memperbaiki kinerja jaringan jalan.

Saran

Penelitian ini telah mampu mengelaborasi kondisi jaringan jalan ketika terjadi acara besar dan peristiwa disrupsi. pada masa mendatang penelitian ini dapat dikembangkan dalam kerangka manajemen lalu lintas saat terjadi disrupsi yang membutuhkan pengembangan metodologi yang lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Azam, M., Hassan, S.A., Puan, O.C., 2023. Calibration methodologies of VISSIM-based microsimulation model for heterogeneous traffic conditions-a survey. *Advances in transportation studies* 59.
- BNBP, 2023. Indeks Risiko Bencana Indonesia (IRBI) 2022. Volume 01. Nomor 01. ISSN 2985-6922.
- Cai, G., Liu, Y., Du, M., 2017. Impact of the 2008 Olympic Games on urban thermal environment in Beijing, China from satellite images. *Sustain Cities Soc* 32, 212–225. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.020>
- Celtek, S.A., Durdu, A., 2022. A Novel Adaptive Traffic Signal Control Based on Cloud/Fog/Edge Computing. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research* 20, 639–650. <https://doi.org/10.1007/s13177-022-00315-3>
- Dowling, R., Skabardonis, A., Alexiadis, V., 2004. *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*. Rep. No. FHWA-HRT-04-040, U.S. DOT, Federal Highway Administration, Washington, D.C III, 146.
- Dulgar, Y., Ment, M., Rehborn, H., Koller, M., 2019. Analysis of microstructures in traffic jams on highways based on drone observations. *2019 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, ICVES 2019*. <https://doi.org/10.1109/ICVES.2019.8906346>
- Duraku, R., Atanasova, V., Krstanoski, N., 2019. Building and Calibration Transport Demand Model in Anamorava Region. *Tehnički vjesnik* 26, 1784–1793.
- Gipps, P.G., 1986. A model for the structure of lane-changing decisions. *Transportation Research Part B: Methodological* 20, 403–414.
- Gipps, P.G., 1981. A behavioural car-following model for computer simulation. *Transportation research part B: methodological* 15, 105–111.

- Haddad, T.A., Hedjazi, D., Aouag, S., 2022. A deep reinforcement learning-based cooperative approach for multi-intersection traffic signal control. *Eng Appl Artif Intell* 114. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105019>
- IDN Times, 2022. Jalan Depan Sirkuit Mandalika Banjir Bukit Bypass Longsor. <https://ntb.idntimes.com/news/ntb/muhamad-nasir-18/jalan-depan-sirkuit-mandalika-banjir-bukit-bypass-longsor>
- Irawan, M.Z., Putri, N.H., 2017. Kalibrasi Vissim Untuk Mikrosimulasi Arus Lalu Lintas Tercampur pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus: Simpang Tugu, Yogyakarta). *Jurnal Transportasi Multimoda* 13, 97–106.
- Jiménez-Ramos, G., Echaveguren, T., Vargas-Baecheler, J., Chamorro, A., 2023. Traffic interruption risk induced by cut-slope failure: The rainfall effect. *Transportation Geotechnics* 41, 100993. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2023.100993>
- Kassens-Noor, E., 2019. Transportation planning and policy in the pursuit of mega-events: Boston's 2024 Olympic bid. *Transp Policy (Oxf)* 74, 239–245. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.12.005>
- Khan, H., Kushwah, K.K., Maurya, M.R., Singh, S., Jha, P., Mahobia, S.K., Soni, S., Sahu, S., Sadasivuni, K.K., 2022. Machine learning driven intelligent and self adaptive system for traffic management in smart cities. *Computing* 104, 1203–1217. <https://doi.org/10.1007/s00607-021-01038-1>
- Kumar, P.M., Basheer, S., Rawal, B.S., Afghah, F., Babu, G.C., Arunmozhi, M., 2022. Traffic scheduling, network slicing and virtualization based on deep reinforcement learning. *Computers and Electrical Engineering* 100. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107987>
- Li, R., Guo, M., 2016. Effects of odd–even traffic restriction on travel speed and traffic volume: Evidence from Beijing Olympic Games. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* 3, 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.01.002>
- Liu, R., 2016. The principles of calibrating traffic microsimulation models. <https://doi.org/10.1007/s11116-007-9156-2>
- Makridis, M.A., Kouvelas, A., 2023. An adaptive framework for real-time freeway traffic estimation in the presence of CAVs. *Transp Res Part C Emerg Technol* 149. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104066>
- Maulana, A., 2017. Pengaruh Kebijakan “4 in 1” terhadap Kinerja Persimpangan Jl Dr. Djujuna–Tol Pasteur dengan Menggunakan Simulasi Mikro. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan* 1.
- Maulana, A., Aldriansyah, K.A., 2020. Optimasi Waktu Hijau Persimpangan Bersinyal di Wilayah Perkotaan. *Jurnal Infrastruktur* 6, 47–52.
- Maulana, A., Nugraha, F.A., 2019. Studi Mikrosimulasi Penilaian Kinerja Persimpangan Bersinyal Jalan Ir. H Juanda-Cikapayang. *Jurnal Teknik Sipil: Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil* 183–188.
- Nian, D., Asce, S.M., Jiang, Q., Asce, M., Ma, J., 2022. Developing Highway Capacity Manual Capacity Adjustment Factors for Connected and Automated Traffic at Two-Way Stop-Controlled Intersections. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS>
- Perez, Y., Pereira, F.H., 2021. Simulation of traffic light disruptions in street networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 582. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126225>
- Raju, N., Farah, H., 2021. Evolution of Traffic Microsimulation and Its Use for Modeling Connected and Automated Vehicles. *J Adv Transp* 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2444363>
- Rasheed, F., Yau, K.L.A., Noor, R.M., Chong, Y.W., 2022. Deep reinforcement learning for addressing disruptions in traffic light control. *Computers, Materials and Continua* 71, 2225–2247.

- <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.022952>
- Shahri, P.K., Homchaudhuri, B., Ghaffari, A., Ghasemi, A.H., 2022. *Designing Traffic Management Strategies for a Heterogeneous Traffic Network*, in: *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier B.V., pp. 694–699. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.11.263>
- Stevanovic, J., Stevanovic, A., Martin, P.T., Bauer, T., 2008. *Stochastic optimization of traffic control and transit priority settings in VISSIM*. *Transp Res Part C Emerg Technol* 16, 332–349. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2008.01.002>
- Vortisch, P., 2014. *History of VISSIM s Development*. *Traffic and Transportation Simulation* 55–63.
- Wang, T., Xie, S., 2009. *Assessment of traffic-related air pollution in the urban streets before and during the 2008 Beijing Olympic Games traffic control period*. *Atmos Environ* 43, 5682–5690. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.07.034>
- Wang, Y., Jin, P.J., 2023. *Model predictive control policy design, solutions, and stability analysis for longitudinal vehicle control considering shockwave damping*. *Transp Res Part C Emerg Technol* 148. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104038>
- Wunderlich, K.E., Vasudevan, M., Wang, P., 2019. *TAT volume III: guidelines for applying traffic microsimulation modeling software 2019 update to the 2004 version*. United States. Federal Highway Administration.
- Xie, C., Bao, Z., Chen, A., 2023. *Disrupted transportation networks under different information availability and stochasticity situations*. *Transp Res Part C Emerg Technol* 150. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104097>
- Yao, K., Chen, S., 2022a. *Resilience-Based Adaptive Traffic Signal Strategy against Disruption at Single Intersection*. *J Transp Eng A Syst* 148. <https://doi.org/10.1061/jtepbs.0000671>
- Yao, K., Chen, S., 2022b. *Resilience-Based Adaptive Traffic Signal Strategy against Disruption at Single Intersection*. *J Transp Eng A Syst* 148. <https://doi.org/10.1061/jtepbs.0000671>
- Zagidullin, R., 2017. *Model of Road Traffic Management in the City during Major Sporting Events*, in: *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., pp. 709–716. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.115>
- Zukhruf, F., Frazila, R.B., Burhani, J.T., Prakoso, A.D., Sahadewa, A., Langit, J.S., 2022. *Developing an integrated restoration model of multimodal transportation network*. *Transp Res D Transp Environ* 110, 103413. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103413>
- Zukhruf, F., Frazila, R.B., Wibowo, S.S., 2010. *Efektivitas Jalur Sepeda Motor pada Jalan Perkotaan Menggunakan Model Simulasi-Mikro*. *Jurnal Transportasi* 10, 23–32.