

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.I Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan:

1. Kinerja eksisting Gerbang Tol Karanganyar pada periode libur Natal 2025 menunjukkan bahwa gardu masuk, khususnya G1 dan G3, mengalami beban lalu lintas tertinggi dengan panjang antrian masing-masing mencapai sekitar 87,98 meter dan 89,88 meter serta tundaan hingga 107,33 detik/kendaraan dan 107,33 detik/kendaraan, yang melebihi batas kinerja yang disyaratkan menurut SPM yaitu maksimal antrian sepanjang 67 meter/gardu. Sementara itu, gardu keluar (G6, G8, G10, dan G12) menunjukkan kinerja yang relatif lebih baik dengan panjang antrian pendek (rentang 1,54–4,15 m), serta tundaan yang cukup sebentar hingga mencapai 13,51 detik/kendaraan. Hal ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan kinerja eksisting belum optimal, terutama pada arah masuk yang mengalami antrian dan tundaan signifikan pada periode puncak.
2. Penurunan antrian dapat dicapai melalui pengoperasian gardu skenario alternatif seperti skenario 2 (3 gardu masuk) yang mampu mereduksi antrian pada titik titik tertinggi hingga menjadi 14,57 meter (turun 83,43%) dengan tundaan sebesar 35,96 detik/kendaraan, sementara pada skenario 3 (4 gardu masuk) mampu menurunkan antrian pada gardu G1 dan juga gardu satelit G5 dan G7 yang ada pada skenario 2 masing masing menjadi 7,37 meter (turun 49,41%), 4,42 meter (turun 41,14%), dan 3,34 meter (turun 58,45%) dengan tundaan arah masuk terlama sebesar 23,04 detik/kendaraan, namun panjang antrian arah keluar mengalami peningkatan menjadi 10,14 meter pada G6 dan 9,81 meter pada G12 dengan tundaan terlama arah keluar sebesar 25,58 detik/kendaraan. Pengoperasian gardu skenario 4 (SLFF) yang memanfaatkan teknologi transaksi nirsentuh pada salah satu gardu masuk (G3) dan keluar (G12) mampu menghilangkan antrian secara total (0 meter) dengan tundaan <1 detik, serta mengurangi beban antrian pada gardu *tapping* pada gardu G1 menjadi 7,9 meter (turun 91,6%) dibandingkan dengan kondisi eksisting dengan tundaan sebesar 19,44 detik/kendaraan. Pencapaian kinerja paling

optimal diperoleh dari pengoperasian gardu skenario 5 (MLFF) yang mampu menghilangkan antrian secara total baik pada arah masuk maupun pada arah keluar (turun 100%) dengan tundaan <1 detik. Dengan demikian, ke-empat skenario alternatif mampu meningkatkan kinerja Gerbang Tol Karanganyar agar sesuai dengan SPM.

3. Pada Skenario 1 (eksisting), panjang antrian pada gardu masuk G1 dan G3 sudah cukup tinggi pada tahun 2030, yaitu masing-masing sebesar 266,15 meter dan 234,02 meter dengan tundaan sebesar 292,56 detik/kendaraan dan 260,86 detik/kendaraan, kemudian meningkat drastis pada tahun 2050 menjadi 444,12 meter (naik 66,87%) dan 450,44 meter (92,48%,) dengan tundaan sebesar 541,17 detik/kendaraan (naik 96,94%) dan 585,12 detik/kendaraan (naik 124,31%). Peningkatan antrian pada gardu keluar di tahun 2050 masih sesuai dengan ambang batas maksimal 67 meter. Pada Skenario 2 (penambahan 3 gardu masuk), terjadi penurunan panjang antrian yang cukup signifikan dibandingkan skenario eksisting pada tahun 2030, dengan seluruh nilai antrian berada di bawah ambang batas 67 meter, namun hanya mampu sesuai dengan SPM hingga pada tahun 2035, dikarenakan peningkatan menuju tahun 2040 hingga 2050 pada gardu masuk yang signifikan menyebabkan skenario 2 tidak mampu sesuai dengan SPM dengan panjang antrian pada gardu masuk G1, G5, dan G7 masing masing sebesar 166,53 meter (naik 620,29%), 160,05 meter (naik 1.544,91%), dan 168,02 meter (naik 1167,12%) dengan tundaan berada pada rentang 199,44-335,26 detik/kendaraan pada tahun 2050. Selanjutnya, pada tahun 2030, seluruh panjang antrian yang ada pada skenario 3 (penambahan 4 gardu masuk) relatif lebih rendah, namun hanya mampu sesuai SPM hingga pada tahun 2035, dikarenakan peningkatan panjang antrian yang signifikan pada gardu G1, G9, G6 dan G12 di tahun 2040 hingga 2050 dengan nilai panjang antrian masing masing yaitu, 86,27 meter (naik 1.070,55%), 90,60 meter (naik 793,49%), 145,87 meter (naik 1.039,60%) dan 187,10 meter (naik 1.807,23%) dengan tundaan tertinggi sebesar 316,12 detik/kendaraan . Pada Skenario 4 (SLFF), meskipun sebagian gardu memiliki antrian rendah, skenario 4 hanya mampu sesuai dengan SPM hingga pada tahun 2040, dikarenakan gardu G1 memiliki antrian sepanjang 79,70 meter pada tahun 2045 dan melonjak signifikan menjadi 139,95 meter dengan tundaan sebesar 287,78

detik/kendaraan pada tahun 2050. Terakhir, pada Skenario 5 (MLFF), panjang antrian pada seluruh gardu adalah 0 meter baik pada tahun 2030 maupun 2050 dengan tundaan <1 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem MLFF mampu menghilangkan antrian secara keseluruhan karena tidak adanya proses berhenti kendaraan untuk transaksi, sehingga kinerja sistem dapat dikategorikan sangat optimal dan memenuhi standar pelayanan secara penuh.

## **V.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, berikut merupakan saran penulis:

1. Mengingat proyeksi kemacetan ekstrem pada pengoperasian gardu skenario eksisting, maka disarankan bagi pengelola jalan tol untuk mulai mengadopsi sistem MLFF secara menyeluruh karena sistem ini mampu menjaga kelancaran transaksi tanpa hambatan untuk jangka panjang.
2. Melakukan penelitian lanjutan terkait analisis biaya manfaat (*Cost-Benefit Analysis*) dari peralihan implementasi sistem pembayaran *tapping* ke MLFF untuk mendukung kelayakan investasi bagi pengelola jalan tol.
3. Melakukan proyeksi lalu lintas dengan menggunakan volume lalu lintas harian rata rata agar mengetahui proyeksi volume yang mencerminkan kondisi lalu lintas secara menyeluruh.
4. Kelemahan dalam penelitian ini merupakan kemampuan proyeksi volume jangka panjang yang masih kekurangan data volume historis yang cukup agar mampu mendapatkan hasil proyeksi yang akurat selama 25 tahun ke depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdeen, M. A. R., Farrag, S., Benaida, M., Sheltami, T., & El-Hansali, Y. (2023). VISSIM Calibration and Validation of Urban Traffic: a Case Study Al-Madinah City. *Personal and Ubiquitous Computing*, 27(5), 1747–1756. <https://doi.org/10.1007/s00779-023-01738-9>
- Abdulla, R., Abdillahi, A., & Abbas, M. K. (2018). Electronic Toll Collection System Based on Radio Frequency Identification System. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 8(3), 1602–1610.
- Abuzwidah, M., & Abdel-Aty, M. (2015). Safety Assessment of the Conversion of Toll Plazas to All-Electronic Toll Collection System. *Accident Analysis & Prevention*, 80, 153–161. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2015.03.039>
- Ahmad, S., Ali, N., Ali, S., & Javid, M. A. (2021). A Simulation-Based Study for the Optimization of Toll Plaza with Different Lane Configuration: A Case Study of Ravi Toll Plaza Lahore, Pakistan. *Journal of Applied and Emerging Sciences*, 11(2), 157–165.
- Al-Ahmadi, H. M., Jamal, A., Reza, I., Assi, K. J., & Ahmed, S. A. (2019). Using Microscopic Simulation-Based Analysis to Model Driving Behavior: a Case Study of Khobar-Dammam in Saudi Arabia. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/su11113018>
- Antoro, B. (2024). Analisis Penerapan Formula Slovin dalam Penelitian Ilmiah: Kelebihan, Kelemahan, dan Kesalahan dalam Perspektif Statistik. *Jurnal Multidisiplin Sosial Dan Humaniora*, 1(2), 53–63.
- Bari, C., Gangwal, A., Rahimi, Z., Srikanth, L., Singh, B., & Dhamaniya, A. (2023). Emission Modeling at Toll Plaza under Mixed Traffic Condition Using Simulation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(7), 803.
- Chauhan, R. K., & Chauhan, K. (2022). Intelligent Toll Collection System for Moving Vehicles in India. *Intelligent Systems with Applications*, 15, 200099. <https://doi.org/10.1016/J.ISWA.2022.200099>
- Damanik, D., Damanik, P., Nopeline, N., Simalungun, U., & Siantar, P. (2024). Analisis Pengaruh Infrastruktur Jalan dan Infrastruktur Listik terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Kota Pematang Siantar. In *Jurnal KAFEBIS-Jurnal Kajian Fenomena Ekonomi & Bisnis* (Vol. 02, Number 01).
- Ekoanindiyo, F. A. (2011). Pemodelan Sistem Antrian dengan Menggunakan Simulasi. *Dinamika Teknik Industri*, Vol. V, No. 1, 72–85.
- Hafam, S. M., Valery, S., & Hasim, A. H. (2023). Calibrating and Validation Microscopic Traffic Simulation Models VISSIM for Enhanced Highway Capacity Planning. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 36(8). <https://doi.org/10.5829/ije.2023.36.08b.11>

- Haikal Zein, F., Muhammadun, H., Marleno, R., & History, A. (2025). International Journal of Social Science and Community Service Comparative Analysis of Road Network Simulation Model Performance of Pahlawan Road Area. In *International Journal of Social Science and Community Service* (Vol. 2024, Number 2). <https://ijsscs.com/index.php/journal>
- Harnanda, A. Y., Priyanto, S., & Irawan, M. Z. (2022). Determining Factors of Interest in the Use of Technology Readiness Based Multi Lane Free Flow (Mlff). *International Journal of Economics, Business and Accounting Research*, 2022(4).
- Ichwan, M., & Arifin, Z. N. (2022). Analisis Peningkatan Kinerja Gerbang Tol Cempaka Putih. *MoDulus Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, 4(2). <https://doi.org/10.32585/modulus.v4i2.2763>
- Isni, R. N., Santosa, B., & Simanjuntak, O. S. (2020). E-toll Collection pada Sistem Transaksi Tol Tertutup Dengan Metode Layanan Berbasis Lokasi Studi Kasus PT Jasa Marga (Persero), Tbk. *Telematika*, 17(2), 131–144.
- Jehad, A. E., Ismail, A., Borhan, M. N., & Ishak, S. Z. (2018). Modelling and Optimizing of Electronic Toll Collection (ETC) at Malaysian Toll Plazas Using Microsimulation Models. *Int. J. Eng. Technol*, 7(4), 2304–2308.
- Jepriadi, K. (2022). Kalibrasi dan Validasi Model Vissim untuk Mikrosimulasi Lalu Lintas pada Ruas Jalan Tol dengan Lajur Khusus Angkutan Umum (LKAU). *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan (Indonesian Journal of Road Safety)*, 9(2), 110–118.
- Joshi, B., Bhagat, K., Desai, H., Patel, M., & Parmar, J. K. (2017). A Comparative Study of Toll Collection Systems in India. *Int. J. Eng. Res. Dev*, 13(11), 68–71.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia* (Number 021).
- Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 370/KPTS/M/2007 Tentang Penetapan Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Ruas Jalan Tol Yang Sudah Beroperasi Dan Besarnya Tarif Tol Pada Beberapa Ruas Jalan Tol (2007).
- Kreewong, T., Klomranok, T., Srisuwan, S., Punyachaiwatnakul, S., & Rattanapanyakorn, T. (2022). A Study of the Traffic Impact on the Opening of Multi-Lane Free Flow (M-Flow) on the Chalong Rat Expressway. *การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (Expressway Authority of Thailand, EXAT), (การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27 atau The 27th National Convention on Civil Engineering)*.
- Lueanpech, P., Pleongsrithong, J., Punyim, P., Leangvilai, E., & Ruttanapunyagorn, T. (2019). *Evaluation of Single Lane Free Flow (SLFF) for Electronic Toll Collection System*.

- Mahdi, M. B., Leong, L. V., & Sadullah, A. F. M. (2019). Use of Microscopic Traffic Simulation Software to Determine Heavy-Vehicle Influence on Queue Lengths at Toll Plazas. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(8), 7297–7311.
- Maulana, A., & Prasetyanto, D. (2023). Pengaruh Implementasi Sistem Bayar Tol Tanpa Henti pada Arus Lalu Lintas di Pintu Tol Buah Batu Kota Bandung. In *FTSP Series*.
- Meiza Jolanda, M. (2022). Analisa Waktu Pelayanan Gardu Tol Cengkareng 2 dengan PTV VISSIM. *PROSIDING SNAST*.  
<https://doi.org/10.34151/prosidingsnast.v8i1.4143>
- Munawar, A., Muthohar, I., & Ardiyanto, A. (2020). *Pengaruh Multilane Free Flow terhadap Kinerja Jalan Tol* (Vol. 6, Number 1).
- Nabawi, I., Imron, Wahidin, Diantoro, W., & Feriska, Y. (2021). Analisis Dampak Kerusakan Jalan terhadap Pengguna Jalan dan Lingkungan di Ruas Jalan Pebatan - Rengaspendawa Brebes. *Infratech Building Journal (IJB)*, 2(1).
- Nowacki, G., Mitraszewska, I., & Kamiński, T. (2008). The National Automatic Toll Collection System for the Republic of Poland. *Transport And Telecommunication*, 9(2), 24–38.
- Nurdiana, R. S., & Susanti, A. (2025). Evaluasi Kondisi Gardu Tol dan Dampaknya Terhadap Panjang Antrian Kendaraan (Studi Kasus: Gerbang Tol Kejapanan Utama Pasuruan). *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, 1–8.
- Oktopianto, Y., & Pangesty, S. (2021). Analisis Daerah Lokasi Rawan Kecelakaan Jalan Tol Tangerang-Merak. *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan (Indonesian Journal of Road Safety)*, 8(1), 26–37.  
<https://doi.org/10.46447/KTJ.V8I1.301>
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 16/PRT/M/2014 Tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol (2014).
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2024 Tentang Jalan Tol. (2024).
- PTV AG. (2020). PTV Vissim 2020 User Manual. In *Ptv Ag*.
- Raharjo, E. P., Kadek, I., Putra Adidana, S., Haryoto, K., & Rore, J. B. (2023). Analysis of Toll Payment Based on Single Lane Free Flow at the Ngurah Rai Toll Gate in Realizing Transport Sustainability. *Jurnal Teknologi Transportasi Dan Logistik*, 4(2).
- Rakhafuri, N. F., & Susilo, B. H. (2023). Pengaruh Nilai Waktu Terhadap Penerapan Multi Lane Free Flow pada Gerbang Tol Ciputat 2. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Terbangun Berkelanjutan*, 1(2), 172–179.

- Rangkuti, L. R. (2023). *Analisis Perbandingan Penggunaan E-TOLL dengan Multi Lane Free Flow (MLFF) (Studi Kasus: Gerbang Tol Pasteur)*. (FTSP Series: Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir 2023), 47–56.
- Ravindra, A. N. V., & Prasad, G. S. S. (2019). *A Review on Performance of Toll Plaza by using Queuing Theory*.
- Rore, J. B., Adidana, I. K. S. P., & Haryoto, K. (2020). Analisis Toll Payment Berbasis Single Lane Free Flow dan Pengembangannya Menuju Multi Lane Free Flow. *Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi Ke-23*.
- Roshan, A. R., Widyastuti, H., & Iranata, D. (2022). Perencanaan Gerbang Tol Ciawi Sukabumi. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2), E139–E145.
- Rota, B. C. R., & Simic, M. (2016). Traffic Flow Optimization on Freeways. *Procedia Computer Science*, 96, 1637–1646. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2016.08.211>
- Septi Nurdiana, R., & Haratama, R. (2024). Peluang Penggunaan Sistem Single Lane Free Flow (SLFF) Untuk Mereduksi Tundaan pada Gerbang Tol Exit Kejapanan Utama. In *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi* (Vol. 2, Number 2).
- Shahrier, M., Hasnat, A., Al-Mahmud, J., Huq, A. S., Ahmed, S., & Haque, M. K. (2024). Towards Intelligent Transportation System: A Comprehensive Review of Electronic Toll Collection systems. In *IET Intelligent Transport Systems* (Vol. 18, Number 6). <https://doi.org/10.1049/itr2.12500>
- Sharma, D., Anawade, P., & Gahane, S. (2025). Driving Toward Tomorrow: A Comparative Study of Electronic Toll Collection and Satellite-Based Tolling. *ICT Analysis and Applications: Proceedings of ICT4SD 2024, Volume 4*, 1162, 81.
- Standar Geometrik Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol No.007/BM/2009 (2009).
- Suhalis, A., Handayani, H., & Gunawan, A. (2018). Analisis Perbandingan Transaksi Tunai dan Non Tunai Gerbang Tol Cikarang Utama pada PT. Jasa Marga (PERSERO) Tbk. *Jurnal Manajemen Bisnis Transportasi Dan Logistik*, 5(1), 69–78.
- Sukmawati, N. (2020). Rancang Bangun Seleksi Kendaraan Sederhana menggunakan Sensor HC-SR04. *SAINTIFIK*, 6(1). <https://doi.org/10.31605/saintifik.v6i1.248>
- Surat Edaran Nomor 14/SE/Db/2021 Tentang Standar Desain Gerbang Tol Pada Masa Transisi Menuju Sistem Transaksi Tol Nontunai Nirsentuh Di Direktorat Jenderal Bina Marga (2021).
- Surat Edaran Nomor 15/SE/Db/2024 Tentang Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 (2024).

- Syarif, M., & Hidayat, R. (2019). Evaluation and Improvement of E-toll Card System at Toll Gate. *International Conference on Social Science 2019 (ICSS 2019)*, 495–499.
- Talavirya, A., Laskin, M., & Pupentzova, S. (2023). *Design and Evaluation of Simulation Model to Connect an Interurban Toll Road to the Street and Road Network*.
- Vu, K. (2025). Electronic Toll Collection (ETC) on Highways: Global trends, Vietnam's Experience, and Policy Lessons. *Telecommunications Policy*, 49(1), 102892. <https://doi.org/10.1016/J.TELPOL.2024.102892>
- Weyland, C. M., Baumann, M. V., Buck, H. S., & Vortisch, P. (2021). Parameters Influencing Lane Flow Distribution on Multilane Freeways in PTV Vissim. *Procedia Computer Science*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.057>