

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, model Long Short-Term Memory (LSTM) berhasil dibangun untuk memprediksi volume kendaraan pada gerbang tol ruas Pandaan–Malang melalui tahapan preprocessing data, pembentukan data deret waktu, normalisasi, pelatihan model, dan evaluasi. Berdasarkan hasil evaluasi pada data *testing*, model memperoleh nilai RMSE sebesar 2.785,34, MAE sebesar 2.021,40, MAPE sebesar 3,43%, dan R^2 sebesar 0,8833 nilai tersebut menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kesalahan prediksi yang rendah serta mampu menjelaskan hubungan antara data aktual dan hasil prediksi dengan baik, sehingga model dinilai memiliki performa yang baik dalam memprediksi volume kendaraan.

Hasil prediksi volume kendaraan tahun 2026 tidak hanya disajikan dalam bentuk total kendaraan tetapi juga dirinci berdasarkan golongan kendaraan, gerbang tol, serta arah pergerakan masuk dan keluar. Pembaruan metode *predict* tersebut menghasilkan informasi yang lebih detail karena setiap gerbang tol dapat dianalisis berdasarkan volume kendaraan masuk dan volume kendaraan keluar. Dengan demikian hasil prediksi menjadi lebih sesuai dengan kebutuhan operasional gerbang tol karena pengelola dapat mengetahui kecenderungan volume kendaraan pada masing-masing gerbang dan arah pergerakan. Berdasarkan hasil prediksi total volume kendaraan seluruh golongan pada tahun 2026 adalah sebesar 20.584.344 kendaraan. Volume prediksi bulanan tertinggi terjadi pada Juli 2026 sebesar 1.761.620 kendaraan sedangkan volume terendah terjadi pada Februari 2026 sebesar 1.573.323 kendaraan. Golongan 1 menjadi kelompok kendaraan paling dominan sedangkan Golongan 5 menjadi kelompok kendaraan dengan volume paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa lalu lintas pada ruas Tol Pandaan-Malang masih didominasi oleh kendaraan ringan. Hasil prediksi berdasarkan gerbang tol menunjukkan bahwa Gerbang Tol Singosari memiliki volume kendaraan paling tinggi dibandingkan gerbang lainnya. Gerbang Tol Malang berada

pada posisi berikutnya kemudian diikuti oleh Gerbang Tol Lawang, Gerbang Tol Pakis, dan Gerbang Tol Purwodadi. Jika dilihat berdasarkan arah pergerakan volume kendaraan keluar sedikit lebih tinggi dibandingkan kendaraan masuk. Hasil prediksi tersebut dapat memberikan gambaran pola volume kendaraan tahun 2026 secara lebih rinci dan dapat digunakan sebagai bahan pendukung dalam perencanaan operasional gerbang tol.

V.2 Saran

1. Bagi Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan (PKTJ)
Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan (PKTJ) disarankan memanfaatkan hasil penelitian ini sebagai salah satu referensi dalam kegiatan pembelajaran, penelitian, maupun pengembangan keilmuan di bidang transportasi jalan, khususnya terkait penerapan metode Long Short-Term Memory (LSTM) untuk prediksi volume kendaraan pada jalan tol.
2. Bagi PT Jasamarga Pandaan Malang
PT Jasamarga Pandaan Malang disarankan memanfaatkan hasil prediksi volume kendaraan sebagai bahan pendukung dalam perencanaan operasional gerbang tol, seperti penentuan jumlah gardu tol yang dioperasikan, pengaturan kebutuhan sumber daya manusia, serta penyusunan strategi pelayanan guna mengantisipasi perubahan volume kendaraan pada periode tertentu.
3. Bagi Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT)
Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) disarankan mempertimbangkan pemanfaatan metode prediksi berbasis Long Short-Term Memory (LSTM) sebagai salah satu alternatif dalam mendukung evaluasi kinerja operasional jalan tol, perencanaan kapasitas, serta penyusunan kebijakan pengelolaan lalu lintas yang berbasis data.
4. Bagi Peneliti Selanjutnya
Peneliti selanjutnya disarankan mengembangkan penelitian ini dengan menambahkan variabel eksternal, seperti curah hujan, hari libur nasional, maupun kejadian khusus, serta membandingkan performa metode Long Short-Term Memory (LSTM) dengan metode lain, seperti GRU, Bi-LSTM, atau Transformer, sehingga dapat diperoleh model prediksi dengan tingkat akurasi yang lebih baik.

5. Keterbatasan Penelitian

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan rentang data historis yang lebih panjang, melakukan pelatihan model secara berulang untuk memastikan konsistensi hasil, serta melengkapi variabel eksternal seperti cuaca, hari libur, dan data kecepatan/occupancy agar prediksi lebih akurat dan menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduljabbar, R. L., Dia, H., & Tsai, P.-W. (2021). Unidirectional and bidirectional LSTM models for short-term traffic prediction. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, 5589075. <https://doi.org/10.1155/2021/5589075>
- Akbardin, J., Permana, A. Y., & Nurahman, H. (2020). The study degree of saturation on toll road access based on changes in urban settlement land. *Journal of Physics: Conference Series*, 1625(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1625/1/012038>
- Al Khairi, S., Adriansyah, A. R., & Rosyidi, L. (2025). Perbandingan XGB regressor dengan algoritma lain untuk prediksi tarif tol. *Journal of Digital Business and Technology Innovation (DBESTI)*, 2(1), 127–132. <https://journal.nurulfikri.ac.id/index.php/dbesti>
- Alzubadi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O., Santamaría, J., Fadhel, M. A., Al-Amidie, M., & Farhan, L. (2021). Review of deep learning: Concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of Big Data*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00444-8>
- Anggoro, Y. T., & Anas, E. P. (2024). Analisa kemungkinan penerapan tarif tol dinamis: Studi kasus pada Jalan Tol Dalam Kota Jakarta. *Syntax*. <https://doi.org/10.36418/syntax>
- Aprianto, R., Yunanta, O. A. I., Hadi, S., & Tohom, F. (2025). Prediksi dan rekomendasi penanganan kinerja lalu lintas kawasan exit tol Ngawen pada tahun 2025 dan 2028. *Region: Jurnal Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif*, 20(2), 462. <https://doi.org/10.20961/region.v20i2.90245>
- Bari, C. S., Chandra, S., Dhamaniya, A., & Navandar, Y. (2022). Traffic operations at mainline toll plazas. *Review Articles Current Science*, 123, (6).
- Bastari Alkam, R., Ilham Marhabang, M., & Ikhwan, M. (2021). Pengaruh pergerakan putar balik arah terhadap kinerja ruas Jalan Letjen Hertasning Kota Makassar. 6 (2). <https://ojs.unanda.ac.id/index.php/jiit/>

- Bischl, B., Binder, M., Lang, M., Pielok, T., Richter, J., Coors, S., ... Lindauer, M. (2021). *Hyperparameter Optimization: Foundations, Algorithms, Best Practices and Open Challenges*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2107.05847>
- Bogaerts, T., Masegosa, A. D., Angarita-Zapata, J. S., Onieva, E., & Hellinckx, P. (2020). *A Graph CNN-LSTM neural network for short and long-term traffic forecasting based on trajectory data*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 112, 62–77.
- Cahyono, M. S. D., & Wibowo, L. S. B. (2021). Comparison analysis of vehicle operating cost (VOC) between new toll road plan with existing road. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1098(2), 022082. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/2/022082>
- Chen, N. (2025). Construction of a short-term traffic flow prediction model based on improved LSTM and performance evaluation across multiple time granularities. *Applied and Computational Engineering*, 177(1), 1–9. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/2025.BJ24681>
- Dhamge, N. R., Patil, J., Dhakate, M., & Hingnekar, H. (2023). Literature review for study of characteristics of traffic flow. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(5), 2393–2405. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2023.52079>
- Dudek, G. (2023). STD: A seasonal-trend-dispersion decomposition of time series. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 35(10), 10339–10350. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2023.3268125>
- Fernandes, B., Silva, F., Alaiz-Moreton, H., Novais, P., Neves, J., & Analide, C. (2020). Long short-term memory networks for traffic flow forecasting: Exploring input variables, time frames and multi-step approaches. *Informatica*, 31(4), 723–749. <https://doi.org/10.15388/20-INFOR431>
- Habel, M., Pranataningtyas, W., Pranoto, Y. A., & Rudhistiar, D. (2024). Vehicle volume forecasting system on toll roads using double moving average and double exponential smoothing methods (Case study at Jasamarga Pandaan Toll Road). *International Journal of Computer Science and Information Technology*, 1(1).

- Hariyanto, A. D., Graha, D. T. R., & Afrianto, F. (2024). Regional economic agglomeration and Trans-Sumatra toll road development: A network and spatial review. *Journal of Infrastructure Policy and Management*, 7(1), 75–95. <https://doi.org/10.3516/JIPM.V7I1.38>
- Hidayat, A. S., Bumulao, N., & Nento, S. (2024). Tinjauan kinerja simpang tak bersinyal Jl. A. A. Wahab, Jl. Sun Ismail, dan Jl. KH Hutu Badu di Kabupaten Gorontalo. *[Nama jurnal]*, 14(1).
- Hidayati, F., & Rarasati, A. D. (2023). Factors affecting the development of an integrated toll transaction system to improve traffic volume distribution. *Jurnal Pensil*, 12(3), 388–399. <https://doi.org/10.21009/JPENSIL.V12I3.36337>
- Holiansyah, & Mahendra, M. O. (2025). Analisis kebutuhan gardu tol berdasarkan teori antrian dan proyeksi volume lalu lintas. *Jurnal Konstruksi*, 23(2). <https://doi.org/10.33364/KONSTRUKSI.V23-2.2432>
- Ihianle, I. K., Nwajana, A. O., Ebinuwa, S. H., Otuka, R. I., Owa, K., & Orisatoki, M. O. (2020). A deep learning approach for human activities recognition from multimodal sensing devices. *IEEE Access*, 8, 179028–179038. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3027979>
- Iqbal, M. Z., Yunus, M., Pramono, H., Khamid, A., & Wahidin. (2023). *Analisis volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas dengan metode Greenshields*. 1(3), 30–47.
- Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). *Machine learning and deep learning*. <https://doi.org/10.1007/S12525-021-00475-2>
- Jiang, T., & Zhang, Z. (2022). Kalman filter using SOV model with maximum versoria criterion for short-term traffic flow forecasting. *ACM International Conference Proceeding Series*, 48–53. <https://doi.org/10.1145/3529570.3529579>
- Kontopoulou, V. I., Panagopoulos, A. D., Kakkos, I., & Matsopoulos, G. K. (2023). A review of ARIMA vs. machine learning approaches for time series

- forecasting in data driven networks. *Future Internet*, 15(8), 255.
<https://doi.org/10.3390/fi15080255>
- Kristanti, A., Tjandani, H. T., & Mawariza, P. S. (2025). Analisis kinerja ruas jalan raya sepanjang Pasar Tradisional Menganti Kabupaten Gresik menggunakan metode PKJI 2023. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2025*.
- Mathew, A., Amudha, P., & Sivakumari, S. (2021). *Deep learning techniques: An overview*.
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2025). *Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 7/SE/M/2025 tentang mekanisme pelaporan evaluasi dan pengecekan pemenuhan standar pelayanan minimal jalan tol*.
<https://jdih.pu.go.id>
- Hawari, H. M., & Sudiarti, S. (2022). Analysis of the impact of the COVID-19 pandemic on traffic volume and revenue at PT. Jasa Marga Belmera Branch (Analisis dampak pandemi COVID-19 terhadap volume lalu lintas dan pendapatan pada PT. Jasa Marga Cabang Belmera). *Journal of Indonesian Management*, 2(2).
- Nugroho, L. A., Latifa, E. A., & Maulani, O. E. (2024). 154-PAPER_JOURNAL-681-1-10-20240728. *Jurnal Teknik Sipil Cendekia*, 5(2), 915–928.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2025). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2025*.
- Rahmadani, F., Djakfar, L., & Wicaksono, A. D. (2025). The effect of transportation infrastructure network development on movement patterns (Case Study: Tunggulmas Bridge). *Eureka: Physics and Engineering*, 2025(4), 77–88. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2025.003489>
- Rakhmanto, G. B. (2025). Short-term prediction of traffic flow with support vector machine to reduce congestion on Jakarta inner-city toll roads. *Eduvest – Journal of Universal Studies*, 5.
- Rama, M. S. S., Marcellina, D., Yulianti, E., Coyanda, R., & Pratiwi Putri, I. J. (2024). Penerapan metode forecasting dalam menentukan prediksi jumlah mahasiswa baru dengan menggunakan single exponential smoothing. 15(2).

- Ramadhan, F., & Fachrie, M. (2024). Implementasi algoritma Long Short-Term Memory (LSTM) pada sistem prediksi hasil panen sawit. *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains*.
- Ramdhani, D., & Saputra, I. (2022). Identifikasi pengaruh curah hujan terhadap kondisi arus lalu lintas berdasarkan data berbasis online Google Traffic. In *FTSP Series*.
- Sakir, R. A. K. (2023). Pengujian Long Short-Term Memory (LSTM) pada prediksi trafik lalu lintas menggunakan multi server. *Jurnal Teknologi ELEKTRIKA*, 20(1), 14. <https://doi.org/10.31963/ELEKTRIKA.V20I1.4242>
- Sasongko, A. T., & Fanany, M. I. (2020). Indonesia toll road vehicle classification using transfer learning with pre-trained ResNet models. *2019 2nd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI 2019)*, 373–378. <https://doi.org/10.1109/ISRITI48646.2019.903459>
- Subiantoro, W., Pratikso, P., Mudiyo, R., & Suryanto, D. A. (2025). Jakarta Outer Ring Road (JORR) toll road off-ramp connectivity queuing with local roads: A case study of T.B. Simatupang Road and JORR toll off-ramp. *Engineering and Technology Journal*, 10(3). <https://doi.org/10.47191/ETJ/V10I03.13>
- Subiantoro, W., Pratikso, P., & Mudiyo, R. (2022). Evaluation of minimum ramp distance in efforts to improve performance on Jakarta–Cikampek toll road. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 955(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/955/1/012015>
- Syahzaqi, I., Sediono, S., Oktavia, S. S., Anggakusuma, A. C., & Wildiyanisa, E. E. (2025). Peramalan jumlah barang kereta api di Indonesia menggunakan metode Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA). *Jurnal Statistika dan Komputasi*, 4(1), 13–22. <https://doi.org/10.32665/STATKOM.V4I1.4424>
- Syaiful, S., Maulani, D., Megawati, D., Gibran, R., & Wardhani, A. K. (2025). Engineering model on traffic volume at Bocimi toll gate. *Journal of Applied Engineering Science*, 23(1), 99–111. <https://doi.org/10.5937/JAES0-54055>

- Torres, J. F., Hadjout, D., Sebaa, A., Martínez-Álvarez, F., & Troncoso, A. (2021). Deep learning for time series forecasting: *A survey*. *Big Data*, 9(1), 3–21. <https://doi.org/10.1089/BIG.2020.0159>
- Wahyuni, P. D., & Bernik, M. (2020). Analisis sistem antrian dalam penggunaan e-toll untuk menentukan jumlah gardu optimal pada Gerbang Tol. 6(2).
- Yu, T., & Zhu, H. (2020). *Hyper-Parameter Optimization: A Review of Algorithms and Applications*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2003.05689>