

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Penelitian analisis model prediksi kecelakaan dengan pola lalu lintas pada Jalan Tol Semarang ABC periode 2021–2025 menghasilkan tiga temuan utama yang saling berkaitan.

1. Berdasarkan hasil analisis karakteristik kecelakaan pada ruas Jalan Tol Semarang ABC periode 2021–2025, tercatat total 735 kejadian kecelakaan dengan distribusi 309 kejadian (42,1%) di Jalur A dan 426 kejadian (57,9%) di Jalur B, dengan puncak kejadian pada tahun 2023 sebanyak 168 kasus. Metode Equivalent Accident Number (EAN) mengidentifikasi 6 lokasi black spot dari 25 segmen yang dianalisis, terdiri dari KM 424 (Seksi A), KM 430 dan KM 431 (Seksi B), serta KM 430C, KM 432C, dan KM 434C (Seksi C), di mana KM 430 Jalur B menjadi lokasi paling kritis dengan EAN = 537 yang jauh melampaui UCL = 106,16 disertai 21 korban meninggal dunia dan 10 kasus rem blong. Karakteristik kecelakaan di seluruh DRK didominasi faktor Kurang Antisipasi (87,14% Jalur B; 78,8% Jalur A), terjadi mayoritas pada kondisi cuaca cerah (79,3%), periode malam hari (50,55%), dengan geometrik Lurus-Menurun dan Menikung-Menurun sebagai kondisi jalan yang paling banyak menjadi lokasi kejadian kecelakaan, mengkonfirmasi bahwa faktor manusia dan karakteristik geometrik vertikal merupakan determinan utama kerawanan kecelakaan di ruas ini.
2. Hasil evaluasi dan perbandingan model prediksi frekuensi kecelakaan menunjukkan bahwa model Regresi Binomial Negatif terpilih dan terbukti secara statistik lebih unggul dibandingkan model Regresi Poisson, dibuktikan oleh penurunan nilai AIC dari 1.342,993 menjadi 1.284,252, perbaikan rasio *Pearson Chi-Square/df* dari 1,556 menjadi 1,101, serta *Likelihood Ratio Test* yang sangat signifikan (LR = 58,74;  $p < 0,001$ ). Uji serentak menghasilkan Chi-Square = 45,319 ( $p = 0,011$ ) yang membuktikan seluruh variabel prediktor secara simultan berpengaruh signifikan, sementara uji parsial mengidentifikasi 10 variabel yang signifikan secara individual meliputi

faktor penyebab kecelakaan ( $p = 0,008$ ), jenis kecelakaan ( $p = 0,048$ ), jumlah lajur ( $p = 0,043$ ), jenis kendaraan ( $p = 0,019$ ), kecepatan MP ( $p = 0,001$ ), KS ( $p = 0,003$ ), TB ( $p = 0,007$ ), BB ( $p = 0,012$ ), volume lalu lintas ( $p = 0,040$ ), dan V/C Ratio ( $p = 0,049$ ). Variabel V/C Ratio memiliki nilai IRR tertinggi (IRR = 8,999) sebagai prediktor paling sensitif terhadap frekuensi kecelakaan, diikuti kecepatan Truk Besar (IRR = 1,011) sebagai jenis kendaraan dengan dampak risiko terbesar per satuan peningkatan kecepatan. Model prediksi terbaik yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \log (AR) = & -22,636 + \beta_{Penyebab} + \beta_{JenisLaka} + \beta_{Lingkungan} + \beta_{Nlajur} \\ & + \beta_{Kombalinyemen} + \beta_{Kendaraan} + 0,008 \times MP + 0,008 \times KS \\ & + 0,011 \times TB + 0,008 \times BB - 0,001 \times Volume + 2,197 \times VC \end{aligned}$$

Model ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan seluruh jenis kendaraan dan nilai V/C Ratio berkontribusi positif terhadap peningkatan frekuensi kecelakaan, dengan kecepatan sebagai variabel dominan yang bersifat paling sensitif dalam mempengaruhi jumlah kejadian kecelakaan di ruas Jalan Tol Semarang ABC.

3. Berdasarkan hierarki IRR model prediksi, alternatif penanganan dirumuskan dalam tiga tahapan jangka pendek (rambu batas kecepatan, rumble strip, edukasi keselamatan, intensifikasi patroli malam), jangka menengah (ETLE, *Virtual Message Sign*, pembatasan operasional kendaraan berat), dan jangka panjang (penambahan lajur KM 430 Jalur B) sebagai solusi struktural permanen yang mengeliminasi *speed variance* ekstrem sekaligus meningkatkan kapasitas jalan secara berkelanjutan.

## V.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian analisis model prediksi kecelakaan dengan pola lalu lintas pada Jalan Tol Semarang ABC periode 2021–2025 yang telah dilakukan, terdapat beberapa keterbatasan yang menjadi dasar perumusan saran bagi penelitian mendatang serta pengguna hasil penelitian agar dapat memberikan manfaat yang lebih komprehensif dan aplikatif.

## A Teoritis

### 1. Perluasan Cakupan Data, Variabel, dan Generalisasi Model

Penelitian mendatang disarankan menggunakan data kecelakaan dengan periode yang lebih panjang (minimal 10 tahun) dan cakupan ruas yang lebih luas, sekaligus memasukkan variabel tambahan seperti kondisi perkerasan jalan (*International Roughness Index/IRI*), intensitas penerangan jalan, data curah hujan aktual, tingkat kelelahan pengemudi, serta faktor hari libur nasional. Selain itu, mengingat model yang dihasilkan bersifat *site-specific*, penelitian selanjutnya disarankan melakukan recalibrasi dan validasi model pada ruas jalan tol lain sehingga dapat menghasilkan model prediksi yang lebih general dan dapat diterapkan secara nasional.

### 2. Pengembangan Metode Pemodelan yang Lebih Lanjut

Penelitian mendatang disarankan mengeksplorasi pendekatan pemodelan yang lebih canggih seperti *Zero-Inflated Negative Binomial* (ZINB) untuk mengakomodasi tingginya proporsi nilai nol dalam data (*excess zeros*), *Geographically Weighted Regression* (GWR) untuk menangkap heterogenitas spasial antar segmen, serta pendekatan *Machine Learning* seperti *Random Forest* dan *Gradient Boosting* sebagai pembanding akurasi prediksi terhadap model statistik konvensional, sehingga diperoleh model prediksi yang lebih adaptif dan akurat.

### 3. Evaluasi Efektivitas Penanganan dan Integrasi Analisis Konflik Lalu Lintas

Penelitian lanjutan disarankan melakukan evaluasi before after terhadap program penanganan yang telah diimplementasikan menggunakan metode *Empirical Bayes (EB)* yang mampu mengendalikan efek regresi ke rata-rata (*regression to mean*), serta melengkapi analisis dengan survei konflik lalu lintas (*traffic conflict study*) berbasis teknologi kamera video analisis dan teknologi gnss di lokasi black spot guna mengidentifikasi potensi kecelakaan secara proaktif sesuai pendekatan *proactive road safety management*.

## B Saran Praktis

### 1. Bagi PT Jasa Marga (Persero) Tbk. Cabang Semarang selaku BUJT

Hasil model prediksi  $\hat{Y} = -471,32 + 48,30 \cdot (VC) + 6,08 \cdot (Kecepatan)$  dapat diintegrasikan ke dalam sistem monitoring operasional jalan tol sebagai instrumen peringatan dini (*early warning system*), di mana apabila sensor mendeteksi kecepatan rata-rata melebihi 85 km/h pada segmen dengan V/C di bawah 0,70 khususnya di KM 430 Jalur B, sistem secara otomatis mengaktifkan *early warning* dan mengirimkan notifikasi kepada petugas patroli untuk segera melakukan penanganan lapangan.

### 2. Bagi Kementerian PUPR dan Direktorat Jenderal Bina Marga

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa segmen bergeometrik *Lurus-Menurun* pada KM 430 Jalur B merupakan lokasi paling kritis (EAN = 537) yang memerlukan kajian teknis rekayasa infrastruktur jangka panjang, khususnya terkait penambahan lajur kendaraan berat dan rekomendasi teknis geometrik.

### 3. Bagi Korlantas Polri dan Dinas Perhubungan Provinsi Jawa Tengah

Model prediksi kecelakaan yang dihasilkan dapat dijadikan dasar ilmiah penetapan kebijakan operasional berupa pembatasan operasional kendaraan berat pada jam puncak di Jalur B, intensifikasi patroli pada periode malam (18.00–06.00 WIB) yang mencatat 50,55% total kejadian kecelakaan, serta penegakan hukum berbasis teknologi ETLE (*Electronic Traffic Law Enforcement*) di seluruh lokasi *black spot* yang teridentifikasi, mengacu pada ketentuan UU No. 22 Tahun 2009 Pasal 23 tentang kewajiban mematuhi batas kecepatan.

### 4. Bagi Pengguna Jalan (Pengemudi)

Pengemudi yang melintas pada ruas Jalan Tol Semarang ABC, khususnya pada segmen KM 424–434 Jalur B dan KM 430C–434C Jalur A, disarankan untuk mematuhi batas kecepatan yang ditetapkan, menjaga jarak aman antar kendaraan, menghindari berkendara pada kondisi kelelahan terutama pada periode malam hari.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY TRANSPORTATION OFFICIALS). (2018). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets: The Green Book. In *American Association of State Highway and Transportation Officials*.  
www.transportation.org
- Agresti, A. (2015). Foundations of Linear and Generalized Linear Models. In *John Wiley & Sons, INC*.
- Akçelik, R. (2003). *Travel time functions for traffic models*. ARRB Transport Research.
- Amrullah, A. A. (2024). Interaksi Faktor-faktor Penyebab Kecelakaan Di Jalan Tol dengan Kesenjangan Kecepatan Sebagai Pemicu Kejadian Tabrak Dari Belakang Pada Malam Hari di Jalan Tol Cipali. *Vitamin: Jurnal Ilmu Kesehatan Umum*, 2(2), 306–316.
- Asian Development Bank. (2018). *Decision Makers' Guide to Road Tolling in CAREC Countries: June 2018* (Issue June).
- Bucsuházy, K., Matuchová, E., Zůvala, R., Moravcová, P., Kostíková, M., & Mikulec, R. (2020). Human factors contributing to the road traffic accident occurrence. *Transportation Research Procedia*, 45(2019), 555–561.  
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.057>
- Chang, J., Oh, C., & Chang, M. (2000). Effects of traffic condition (v/c) on safety at freeway facility sections. *Transportation Research, E-Circular, Fourth International Symposium on Highway Capacity Proceedings*, 200–208.
- Djollong, A. F. (2014). Teknik Pelaksanaan Penelitian Kuantitatif (Technique of Quantitative Research). *Istiqlah*, 2(1), 86–100.
- Dr. H. Zuchri Abdussamad, S.I.K., M. S. (2015). Metode Penelitian Kualitatif. In *Etika Jurnalisme Pada Koran Kuning: Sebuah Studi Mengenai Koran Lampu Hijau* (Vol. 16, Issue 2). <https://repository.ung.ac.id/karyailmiah/show/8793/buku-metode-penelitian-kualitati.html>
- F. D. Hobbs. (1995). *Traffic Planning And Engineering*.
- Gardner, W., Mulvey, E. P., & Shaw, E. C. (1995). Regression analyses of counts and rates: Poisson, overdispersed Poisson, and negative binomial models. *Psychological Bulletin*, 118(3), 392–404. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.118.3.392>

- Hardani, Auliya, N. H., Andriani, H., Fardani, R. A., Ustiawaty, J., Utami, E. F., Sukmana, D. J., & Istiqomah, R. R. (2020). Buku Metode Penelitian Kualitatif. In *Revista Brasileira de Linguística Aplicada* (Vol. 5, Issue 1).
- Hu, Z., Zhou, J., & Zhang, E. (2023). Improving Traffic Safety through Traffic Accident Risk Assessment. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(4). <https://doi.org/10.3390/su15043748>
- Hadi, S., Wahyudi, S. I., & Wibowo, K. (2026). The Impact of Road Alignment Combinations on the Traffic Crash Rates on the Semarang-Solo Toll Road, Indonesia. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, *16*(1), 32682–32690. <https://doi.org/10.48084/etasr.15366>
- J.Garber, N., & Hoel, L. A. (2009). Traffic & Highway Engineering. In *Journal of the Medical Association of Thailand* (4th ed., Vol. 85, Issue 4).
- Johnson, R. A. ., Miller, Irwin., & Freund, J. E. . (2019). *Miller & Freund's probability and statistics for engineers*.
- Joseph M. Hilbe. (2011). *Negative Binomial Regression*.
- Khisty, C. J., & Lall, B. K. (2005). *Dasar-dasar Rekaya Trasnportasi* (3rd ed.).
- Long, J. S. (1997). *Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables*. Sage Publications. [http://investigadores.cide.edu/aparicio/data/refs/Long%26Freese\\_RegModelsUsingStata\\_2001.pdf](http://investigadores.cide.edu/aparicio/data/refs/Long%26Freese_RegModelsUsingStata_2001.pdf)
- Maulida, N., Agustin, I. W., & Utomo, D. M. (2020). Tingkat Kecelakaan Ruas Jalan Rawan Kecelakaan Di Kota Malang. *Planning for Urban Region and Environment*, *9*(1), 1–10.
- Muntafiah, R., Wasono, R., & Darsyah, Moh. Y. (2014). PEMODELAN REGRESI BINOMIAL NEGATIF UNTUK MENGATASI OVERDISPERSION PADA REGRESI POISSON. *2*(1), 280–287. <https://doi.org/10.1145/1641804.1641852>
- Myers, R. (1980). *Classical and modern regression with applications*. Pacific Grove, CA. : Duxbury/Thompson Learning.
- Obeidat, M. S., Obeidat, R. M., & Dweiri, F. (2024). Unravelling the veil of traffic safety: a comprehensive analysis of factors influencing crash frequency across US states. *Transportation Safety and Environment*, *6*(4). <https://doi.org/10.1093/tse/tdae016>

- Oktopianto, Y., Prasetyo, T., & Maulana Arief, Y. (2021). Analisis Penanganan Daerah Rawan Kecelakaan Kabupaten Karanganyar. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 5(2), 201–214. <https://doi.org/10.35334/be.v5i2.2018>
- Palmer, A., Losilla, J. M., Vives, J., & Jimenez, R. (2013). Overdispersion in the Poisson Regression Model. *Methodology*, 9(4), 178. <https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000069>
- Panjaitan, R. (2017). Metodologi Penelitian. In *Jusuf Aryani Learning*.
- Pedoman Penanganan Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu Lintas, Departemen Perumahan Dan Prasarana Wilayah 54 (2004). <https://binamarga.pu.go.id/index.php/peraturan/dokumen/pedoman-penanganan-lokasi-rawan-kecelakaan-lalu-lintas>
- Pemerintah Indonesia. (2024). *PP Nomor 23 Tahun 2024. 213603*.
- Petridou, E., & Moustaki, M. (2000). Human factors in the causation of road traffic crashes. *European Journal of Epidemiology*, 16(9), 819–826. <https://doi.org/10.1023/A:1007649804201>
- Polri, K. (2023). *Statistik kecelakaan lalu lintas jalan tol tahun 2022–2023*. Kepolisian Negara Republik Indonesia. <https://korlantas.polri.go.id>
- Prasetyanto, D. (2020). *Keselamatan Lalu Lintas Infrastruktur Jalan*.
- Ridha, M., Sumabrata, J., & Siregar, M. L. (2019). Kajian Karakteristik Lalu-Lintas Di Jalan Tol Serta Korelasi Dengan Pola Kecelakaan. *Warta Penelitian Perhubungan*, 26(1), 67. <https://doi.org/10.25104/warlit.v26i1.867>
- Risdiyanto. (2014). *Rekayasa & Manajemen Lalu Lintas Teori dan Aplikasi* (Issue January).
- Rizaldi, A., Dixit, V., Pande, A., & Junirman, R. A. (2017). Predicting casualty-accident count by highway design standards compliance. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 6(3), 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2017.07.005>
- Roger P Roess, Ph. D., Elena S. Prassas, Ph. D., & William R. McShame, Ph.D., P.E., P. T. O. E. (2011). Traffic engineering. In *BT Technology Journal* (Vol. 18, Issue 3). <https://doi.org/10.1023/A:1026701215511>
- Rukajat, A. (2018). *Pendekatan Penelitian Kuantitatif* (I. Fatria, Ed.). CV Budi Utama.

- Sagamiko, T. D., & Mbare, N. S. (2021). Modelling Road Traffic Accidents Counts in Tanzania: A Poisson Regression Approach. *Tanzania Journal of Science*, 47(1), 308–314. <https://dx.doi.org/10.4314/tjs.v47i1.26>
- Santosa, W. (2010). Teknik survei kecepatan kendaraan dengan metode Floating Car. *Jurnal Transportasi Indonesia*, 32(2), 101–112.
- Santosa, W., Parikesit, D., Wardhana, Y., Dewanti, Makmur, A., Safrilah, & Kurniawan, D. (2023). *Perspektif Kebijakan dalam Pembangunan Jalan Tol di Indonesia*. 1, 1–474.
- Shahsavari, S., Mohammadi, A., Mostafaei, S., Zereshki, E., Tabatabaei, S. M., Zhaleh, M., Shahsavari, M., & Zeini, F. (2022). Analysis of injuries and deaths from road traffic accidents in Iran: bivariate regression approach. *BMC Emergency Medicine*, 22(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12873-022-00686-6>
- Suseno, H. (2022). Kecelakaan Menghambat Tumbuh dan Berkembang Suatu Bangsa. *Jurnal Indonesia Sosial Sains*, 3(10), 1345–1352. <https://doi.org/10.59141/jiss.v3i10.716>
- Tahir, S. N. K. (2014). Analisis Hubungan Rasio Volume Per Kapasitas Lalu Lintas di Jalan Jendral Sudirman Kota Gorontalo. *Radial*, 7(1), 24–39.
- Tendriyawati, Adhi, G. N., & Abapihi, B. (2023). Pemodelan Regresi Poisson Terhadap Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Terjadinya Hipertensi Di Kota Kendari. *Jurnal Matematika, Komputasi Dan Statistika*, 3(April), 255–262.
- Triawan, F., & Susilo, B. H. (2023). Prioritas Penanganan Lokasi Rawan Kecelakaan (LRK) pada Jalan Nasional. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(1), 12–26. <https://doi.org/10.28932/jts.v19i1.5244>
- Ullah Khan, R., Yin, J., & Shair Mustafa, F. (2019). Factors Affecting Crash Frequencies: A Negative Binomial Regression Based Analysis of Indus Highway, Pakistan. *MATEC Web of Conferences*, 296(2019), 01005. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929601005>
- UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 9 TAHUN 2009, 56 (2009).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan (2004). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/40414/uu-no-38-tahun-2004>
- Zhang, P., Wang, C., Chen, F., Cui, S., Cheng, J., & Bo, W. (2022). A Random-Parameter Negative Binomial Model for Assessing Freeway Crash Frequency by Injury Severity:

Daytime versus Nighttime. *Sustainability (Switzerland)*, 14(15).  
<https://doi.org/10.3390/su14159061>

Zhou, M., & Sisiopiku, V. P. (1997). Relationship between volume-to-capacity ratios and accident rates. *Transportation Research Record*, 1581, 47–52.

Zou, Y., Zhang, Y., & Cheng, K. (2021). Exploring the impact of climate and extreme weather on fatal traffic accidents. *Sustainability (Switzerland)*, 13(1), 1–14.  
<https://doi.org/10.3390/su13010390>