

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis identifikasi dan pemetaan daerah rawan kecelakaan menggunakan metode DBSCAN dan Kernel Density Estimation (KDE) pada Jalan Tol Pandaan – Malang, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode DBSCAN berhasil mengidentifikasi kluster kecelakaan lalu lintas berdasarkan kepadatan titik kejadian pada ruas Jalan Tol Pandaan–Malang. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada Jalur A (arah Surabaya–Malang) terbentuk 6 kluster utama dengan konsentrasi kejadian berada pada KM 65+500 – 66+400, KM 72 – 72+510, KM 77+900 – 78+500, KM 82+600 – 83+400, KM 83+900 – 84+600, KM 87 – 87+400. Sementara pada Jalur B (arah Malang–Surabaya), kluster terbentuk sebanyak 3 pada KM 61+700 – 62+200, KM 76+800 – 77+600, KM 77+800 – 78+800. DBSCAN mampu mendeteksi pola pengelompokan kecelakaan yang tidak beraturan serta memisahkan kejadian yang bersifat *noise*, sehingga identifikasi daerah rawan menjadi lebih spesifik dibandingkan pendekatan frekuensi per segmen jalan biasa.
2. Metode Kernel Density Estimation berbobot *Equivalent Accident Number* (EAN) berhasil menganalisis tingkat intensitas dan keparahan kecelakaan secara spasial. Pada Jalur A, tingkat kepadatan fatalitas tertinggi terdeteksi pada KM 76+495 hingga 78+200, sedangkan pada Jalur B terkonsentrasi pada KM 76+820 hingga KM 78+935. Penggunaan pembobotan EAN membuat hasil raster KDE tidak hanya mempertimbangkan jumlah kejadian kecelakaan, tetapi juga tingkat fatalitas korban, sehingga daerah dengan dampak kecelakaan tinggi tetap dapat terdeteksi meskipun jumlah kejadian tidak terlalu banyak.
3. Pemetaan daerah rawan kecelakaan menggunakan overlay antara hasil DBSCAN dan Kernel Density Estimation dalam ArcGIS Pro berhasil menghasilkan peta daerah rawan kecelakaan yang representatif karena menggabungkan aspek frekuensi kejadian dan tingkat fatalitas kecelakaan. Hasil overlay menunjukkan bahwa daerah rawan tinggi

terbentuk akibat kombinasi antara kepadatan kluster kecelakaan dan tingginya tingkat keparahan kecelakaan. Pada Jalur A teridentifikasi 3 daerah rawan tinggi, yaitu KM 76+400 – 78+200, KM 82+400 – 83+600, dan KM 83+700 – 84+800, sedangkan pada Jalur B terdapat 1 daerah rawan tinggi, yaitu KM 76+800 – 79+000. Hasil analisis karakteristik menunjukkan bahwa faktor dominan kecelakaan pada kedua jalur adalah kurang antisipasi pengemudi, dengan kecelakaan pada daerah rawan tinggi umumnya terjadi pada siang hari. Pada Jalur A, karakteristik kecelakaan cenderung lebih menyebar dengan dominasi cuaca cerah, sedangkan Jalur B menunjukkan pola yang lebih terkonsentrasi dan banyak terjadi saat hujan lebat. Hasil validasi menggunakan data kecelakaan Januari – Februari 2025 menunjukkan tingkat kesesuaian sebesar 86% pada Jalur A dan 87,5% pada Jalur B, sehingga peta yang dihasilkan mampu merepresentasikan pola kecelakaan aktual secara baik. Peta hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai alat monitoring operasional yang dapat diperbarui secara berkala oleh pihak pengelola jalan tol untuk mendukung upaya mitigasi dan penanganan keselamatan jalan berbasis spasial.

V.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan variabel pendukung lain seperti volume lalu lintas, kecepatan kendaraan, kondisi cuaca, geometrik jalan, serta data elevasi agar analisis daerah rawan kecelakaan dapat memberikan hasil yang lebih detail dan komprehensif.
2. Penelitian berikutnya dapat mengembangkan sistem monitoring berbasis WebGIS atau dashboard interaktif sehingga pembaruan data kecelakaan dan pemetaan daerah rawan dapat dilakukan secara otomatis dan *real-time* oleh pihak pengelola jalan tol.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai hubungan faktor penyebab dominan kecelakaan dengan karakteristik geometrik jalan dan perilaku

pengemudi, khususnya pada daerah rawan tinggi yang memiliki konsentrasi kecelakaan fatal berulang.

4. Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk pelaksanaan audit keselamatan jalan, pemasangan rambu peringatan dini, penguatan manajemen kecepatan, serta penentuan prioritas penanganan keselamatan pada ruas Tol Pandaan – Malang, terutama pada daerah dengan kategori kerawanan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdrhman, H., Qiu, Y., Shams, H., & Damos, M. A. (2024). GIS-Based Identification of Traffic Incident Hot Spots and Severity Index in Khartoum, Sudan. *Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology*, 45(4), 1001–4055.
- Afdal, M., & Prana Disastra, R. (2022). Analisis Pola Kecelakaan Lalu Lintas Menggunakan Algoritma K-Means Dan FP-Growth Studi Kasus: Polres Solok. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Manajemen Sistem Informasi*, 8(1), 31–40.
- Afghari, A. P., Vos, J., Farah, H., & Papadimitriou, E. (2023). "I did not see that coming": A latent variable structural equation model for understanding the effect of road predictability on crashes along horizontal curves. *Accident Analysis and Prevention*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107075>
- Afolayan, A., Easa, S. M., Abiola, O. S., Alayaki, F. M., & Folorunso, O. (2022). GIS-Based Spatial Analysis of Accident Hotspots: A Nigerian Case Study. *Infrastructures*, 7(8). <https://doi.org/10.3390/infrastructures7080103>
- Apriliyaningsih, S., Saeoudin, E. A., Putri, E. A., Karmelia, A., & Sandi, M. R. (2025). *Kebijakan Pembangunan Infrastruktur Jalan Tol Evaluasi Dampak Pembangunan Jalna Tol Terhadap Peningkatan Konektivitas Antar Daerah, Pertumbuhan Ekonomi Regional, serta Dampaknya Terhadap Masyarakat dan Lingkungan Hidup*. 1(2), 44–53. <https://indojurnal.com/index.php/ekopedia>
- Arumsari, N. D., Nugraha, A. L., & Awaluddin, M. (2016). Pemodelan Daerah Rawan Kecelakaan Dengan Menggunakan Cluster Analysis (Studi Kasus: Kabupaten Boyolali). *Jurnal Geodesi Undip Januari*, 5(1).
- Aulia, M. D., & Saputra, A. O. (2022). Analisis Daerah Rawan Kecelakaan Di Jalan Kolektor Primer Kabupaten Sukabumi. *CRANE*, 3, 22–28. <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/jati22DonieAulia/CRANE/2022>
- Australian/New Zealand Standard. (2004). *AS/NZS 4360*. www.saiglobal.com/shop
- Chang, K.-Tsun. (2019). *Introduction to geographic Information Systems*. McGraw-Hill Education.
- Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah, Pub. L. Pd T-09-2004-B (2004). Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, Pedoman Operasi (2007).
- Esri. (2025). *How Kernel Density works—ArcGIS Pro*. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm>

- Ewaldo, K., & Naulibasa, G. V. (2022). Analisis Penyebaran dan Radius Jangkauan Fasilitas Kesehatan di Kabupaten Way Kanan Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Teknologi Sistem Informasi Dan Aplikasi*, 5(1), 30. <https://doi.org/10.32493/jtsi.v5i1.15378>
- Fadlan, Kamaruddin, & Arifai. (2024). Implementasi Traffic Accident Analysis Guna Menanggulangi Kecelakaan Lalu Lintas. *Journal Publicuho*, 7(3), 1389–1401. <https://doi.org/10.35817/publicuho.v7i3.497>
- Fadlilah, I. N., Puspitasari, D., & Barmin, A. M. (2024). Klasterisasi Daerah Rawan Banjir Di Pulau Jawa Dengan ALgoritma DBSCAN. *SITASI*, 465–473.
- Fauzi, P., & Farida, I. (2022). Analisis Daerah Rawan Kecelakaan di Kabupaten Garut Berdasarkan Pengguna Sepeda Motor. *Konstruksi*, 20, 62–72. <https://jurnal.itg.ac.id/>
- Fitrianah, D., Gunawan, W., & Algian Kurniaputra, R. (2021). Implementasi Algoritma DBScan dalam Pengambilan Data Menggunakan Scatterplot. *Techno Xplore*, 6(2), 91–98.
- Geli, H., Sahdan, M., & Dodo, D. O. (2021). Epidemiologi Kecelakaan Lalu Lintas Pada Pengemudi Sepeda Motor Di Wilayah Kerja Kepolisian Sektor Loura Kabupaten Sumba Barat. *Media Kesehatan Masyarakat*, 3(1), 52–62. <https://doi.org/10.35508/mkm>
- Hendrastuty, N. (2024). Penerapan Data Mining Menggunakan Algoritma K-Means Clustering Dalam Evaluasi Hasil Pembelajaran Siswa. *Jurnal Ilmiah Informatika Dan Ilmu Komputer (JIMA-ILKOM)*, 3(1), 46–56. <https://doi.org/10.58602/jima-ilkom.v3i1.26>
- Islam, M. R., Jenny, I. J., Nayon, M., Islam, Md. R., Amiruzzaman, M., & Abdullah-Al-Wadud, M. (2021). *Clustering Algorithms to Analyze the Road Traffic Crashes*. <http://arxiv.org/abs/2108.03490>
- Jima, D., & Sipos, T. (2022). The Impact of Road Geometric Formation on Traffic Crash and Its Severity Level. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/su14148475>
- Kamh, H., Alyami, S. H., Khattak, A., Alyami, M., & Almujiabah, H. (2017). *Exploring Road Traffic Accidents Hotspots Using Clustering Algorithms and GIS-based Spatial Analysis*.

- Karimah, Y., Samudi, & Fahrizal. (2025). Klasifikasi Penanganan Prioritas Kerusakan Jalan Tol Menggunakan Algoritma C4.5. *Jurnal Multidisiplin Saintek*, 9(1).
- Khofifah, M. U. (2023). Analisis Kecelakaan Lalu Lintas Berdasarkan Daerah Rawan Kecelakaan Pada Ruas Jalan Tol Pandaan – Malang. *Jurnal Multidisiplin Saintek*, 20–30.
- Kmet, R., Dvorak, Z., & Kvet, M. (2019). Map of traffic accidents. *Transportation Research Procedia*, 40, 1418–1425. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.196>
- Latifah, L. L., Agustian Hudjimartsu, S., Yanuarsyah, I., Ibn, U., Bogor, K., Kh, J., Km, S. I., & Bogor, K. (2022). Analisis Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas Menggunakan Cluster Analysis Di Kota Bogor Berbasis Webgis. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan*, 8(2), 235–244.
- Maulani, T., Haerani, E., Wulandari, F., & Oktavia, L. (2025). Clustering Data Penduduk Desa Menggunakan Algoritma Mean Shift. *Terapan Informatika Nusantara*, 6(1), 15–23. <https://doi.org/10.47065/tin.v6i1.7550>
- Mustikasari, & Salman, N. (2023). Analisis Kluster Berbasis Kepadatan Dengan DBSCAN dan OPTICS. *JURNAL INSYPRO*, 8(1), 1–8. <http://journal.uinalauddin.ac.id/index.php/insypro>
- Ndun, Y. V., Kuswara, K. M., & Tamelan, P. G. (2025). RASIO VOLUME PER KAPASITAS DAN ANGKA KECELAKAAN LALU LINTAS DI JALAN TIMOR RAYA KUPANG. *Jurnal Batakarang*, 6(1a).
- 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>
- Permatasari, N. A., Herry Chrisnanto, Y., & Kania Ningsih, A. (2023). Segmentasi Kasus Data Kematian Covid 19 Di Jawa Barat Menggunakan Algoritma DBSCAN Universitas Jendral Achmad Yani. *IJESPG Journal*, 1(4). <http://ijespgjournal.org>
- Pratama, W. A., & Mahmudah, N. (2024). Spatial Analysis to Determine Black Spot Area in Kulon Progo Regency, Yogyakarta, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1294(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1294/1/012016>

- PT Jasamarga Pandaan Malang. (2021). *Mapping JPM*.
- Puspitasari, D. I., Zaenuddin, Z., & Yuridka, F. (2019). Sistem Informasi Geografi (SIG) Pencarian Lokasi Tambal Ban dengan Pemanfaatan Teknologi GPS. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 4(1), 30–38. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v4i1.23146>
- Putra, E. E. S., Ratih, S. Y., & Primantari, L. (2021). Analisis Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas Jalan Raya Ngerong Cemorosewu. *Jurnal Kacapuri*, 4(2), 255–264.
- Rahmadanti, P., Martha, S., & Satyahadewi, N. (2025). Penentuan Jumlah Cluster Optimum Pada Pengelompokan Provinsi Di Indonesia Berdasarkan Indikator Pendidikan Tingkat SMA. *Buletin Ilmiah Math. Stat. Dan Terapannya (Bimaster)*, 14(2), 227–234.
- Ramadhani, M. J., Juita, E., & Zuriyani, D. E. (2024). Analisis Spasial Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas di Jalan Arteri Kota Padang. *El-Jughrafiyah*, 4(1), 91–98.
- Richmund, M., Leon, D. E., Doroy, N., Lidasan, H., & Castro D, J. (2013). Black Spot Cluster Analysis of Motorcycle Accidents. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 9.
- Santi, D., Maharani, W., Syahrullah, S., Mukhlis, B., & Kali, A. (2025). Clustering Daerah Terdampak Sampah Di Indonesia Menggunakan Algoritma DBSCAN. *Foristek*, 15(1). <https://doi.org/10.54757/fs.v15i1.751>
- Santosa, S. A. (2023). *Implementasi Kernel Density Sebagai Monitoring Potensi Laka Pada Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas Kabupaten Sleman (Studi Kasus: Jasa Raharja Area Kabupaten Sleman)*. Universitas Islam Indonesia.
- Saputra, F., Brilianti, D. F., & Rifano. (2025). Analisis Faktor Kecelakaan Kendaraan Keluar Jalur Pada Ruas Tol Semarang - Batang. *CIVeng*, 6(2), 117–122. <http://jurnalnasional.ump.ac.id?index.php/civeng>
- Sartavie, R. I. A., Noviandi, Cahyo, A. A. D., & Anwar, S. (2022). Implementasi Kernel Density Pada Analisa Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas Provinsi DKI Jakarta. *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, 27(2), 159–168. <https://doi.org/10.35760/ik.2022.v27i2.6600>
- Setiawan, D., & Asima, M. (2019). Pemetaan Risiko Kecelakaan Lalu Lintas Di Ruas Jalan Tol Cipularang. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 87–148.

- Silvi, D. A., & Indrianawati. (2024). Analisis Spasial Tingkat Kerawanan Kecelakaan Lalu Lintas di Kabupaten Sumedang. *FTSP Series*, 652–657.
- Simbolon, I. N., & Friskila, P. D. (2024). Analisis Dan Evaluasi Algoritma DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering Of Application With Noise) Pada Tuberkulosis. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3s1.5206>
- Siregar, A. Z., Awaluddin, M., & Wahyuddin, Y. (2023). Identifikasi Tingkat Rawan Kecelakaan Lalu Lintas Menggunakan Metode Kernel Density dan K-Medoids (Studi Kasus: Kecamatan Depok dan Kalasan, Kabupaten Sleman). *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 3(1), 23–35. <https://doi.org/10.31315/imagi.v3i2.9241>
- Susanto, H. D., & Yuniarto, B. (2023). Analisis Pola Kecelakaan Lalu Lintas Menggunakan Algoritma Decision Tree Berdasarkan Ekstraksi Informasi dari Berita Online Menggunakan Named Entity Recognition (NER) (Studi Kasus: Tol di Provinsi Jawa Barat). *Seminar Nasional Official Statistics*, 213–224.
- Topcuoglu, B., Memisoglu Baykal, T., & Tuydes Yaman, H. (2022). Speed-Related Traffic Accident Analysis Using GIS-Based DBSCAN and NNH Clustering. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 48(4/W1-2022), 487–494. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W1-2022-487-2022>
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan, Pemerintah Republik Indonesia (2009).
- Urbac, M., Junaidi, A., Syukur, M., Nurhamidah, N., & Ferial, R. (2023). Kajian Aspek Geospasial Untuk Percepatan Pembangunan dan Pemberdayaan Desa Binaan Kota Padang. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 12(4), 198–204. <https://doi.org/10.32315/jlbi.v12i4.83>
- Wang, C., Zhong, M., Zhang, H., & Li, S. (2022). Impacts of Real-Time Traffic State on Urban Expressway Crashes by Collision and Vehicle Type. *Sustainability (Switzerland)*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/su14042238>
- Wang, J., Liu, Y., & Chang, J. (2022). An Improved Model for Kernel Density Estimation Based on Quadtree and Quasi-Interpolation. *Mathematics*, 10(14). <https://doi.org/10.3390/math10142402>
- Wibowo, T. W., Santosa, S. H. M. B., Susilo, B., & Purwanto, T. H. (2021). Revealing tourist hotspots in yogyakarta city based on social media data

clustering. *Geojournal of Tourism and Geosites*, 34(1), 218–225.
<https://doi.org/10.30892/gtg.34129-640>

Wulandari, S. (2021). Investment risk management for vanilla agribusiness development in Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 232.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123202022>

Zheng, M., Xie, X., Jiang, Y., Shen, Q., Geng, X., Zhao, L., & Jia, F. (2024). Optimizing Kernel Density Estimation Bandwidth for Road Traffic Accident Hazard Identification: A Case Study of the City of London. *Sustainability (Switzerland)*, 16(16). <https://doi.org/10.3390/su16166969>