

Analisis Spasial Terhadap Pola Kejadian Kriminalitas Menggunakan *Kernel Density Estimation* Dengan Pemilihan *Bandwidth* Menggunakan *Likelihood Cross Validation*

Nurul Fadhilah Anwar¹, Asep Id Hadiana², Fatan Kasyidi³

Program Studi Informatika

Universitas Jenderal Achmad Yani

Cimahi, Indonesia

e-mail: ¹nurulfadhilaha28@gmail.com, ²asep.hadiana@lecture.unjani.ac.id,

³fatan.kasyidi@lecture.unjani.ac.id

Correspondence : e-mail: nurulfadhilaha28@gmail.com

Diajukan: 10 Agustus 2024; Direvisi: 22 Agustus 2024; Diterima: 23 Agustus 2024

Abstrak

Kejahatan masih menjadi masalah yang signifikan di daerah-daerah yang rentan seperti Jawa Barat, meskipun terjadi penurunan kasus sejak tahun 2019. Mengatasi masalah ini membutuhkan upaya serius dan kolaboratif dari pemerintah, penegak hukum, dan masyarakat. Analisis spasial dan pemetaan ancaman keamanan merupakan strategi penting untuk memvisualisasikan kepadatan kejahatan dan mengidentifikasi pola kejahatan. Penelitian sebelumnya telah menggunakan *Kernel Density Estimation* (KDE) untuk menentukan titik-titik rawan kejahatan, yang menekankan pentingnya pemilihan *bandwidth* untuk mencapai visualisasi yang akurat. Penelitian-penelitian tersebut menggunakan KDE dengan metode pemilihan *bandwidth* seperti *Scott's*, *Silverman*, dan *Likelihood Cross-Validation* (LCV). Penelitian ini melakukan analisis spasial dan pemetaan menggunakan KDE dengan optimasi *bandwidth* melalui LCV untuk meningkatkan hasil visualisasi pada area yang luas. Temuan menunjukkan bahwa pemilihan *bandwidth* menggunakan LCV berkinerja baik pada area yang luas, mencapai akurasi 98% pada 50% area yang dianalisis, sementara area yang lebih kecil mencapai akurasi 28%. Dengan demikian, pemilihan *bandwidth* sangat penting dalam pemetaan berbasis KDE, dan LCV merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan kinerja KDE pada area yang luas.

Kata kunci: Analisis Spasial, *Kernel Density Estimation* (KDE), Pemilihan *Bandwidth*, *Likelihood Cross-Validation* (LCV), Kriminalitas hotspot.

Abstract

Crime remains a significant concern in vulnerable regions such as West Java, despite a decline in cases since 2019. Addressing this issue requires serious and collaborative efforts from the government, law enforcement, and the community. Spatial analysis and security threat mapping are crucial strategies for visualizing crime density and identifying crime patterns. Previous studies have utilized *Kernel Density Estimation* (KDE) to determine crime hotspots, emphasizing the importance of bandwidth selection in achieving accurate visualizations. These studies employed KDE with bandwidth selection methods such as *Scott's*, *Silverman's*, and *Likelihood Cross-Validation* (LCV). This research conducts spatial analysis and mapping using KDE with bandwidth optimization through LCV to improve visualization results over large areas. The findings demonstrate that bandwidth selection using LCV performs well in large areas, achieving 98% accuracy over 50% of the analyzed area, while smaller areas achieve 28% accuracy. Thus, bandwidth selection is crucial in KDE-based mapping, and LCV is an effective method for enhancing KDE performance over large areas.

Keywords: Spatial analysis, *Kernel Density Estimation* (KDE), Bandwidth selection, *Likelihood Cross-Validation* (LCV), Crime hotspots

1. Pendahuluan

Kriminalitas menjadi sorotan utama dalam pembicaraan masyarakat saat ini, terutama di beberapa wilayah yang rentan menjadi target para pelaku kejahatan. Kabupaten Bogor misalnya, menempati peringkat teratas dengan jumlah kasus kriminal tertinggi. Meskipun terjadi penurunan kasus sejak tahun

2019, penting bagi masyarakat untuk tetap waspada terhadap potensi ancaman kejahatan. Kasus kriminalitas di wilayah Jawa Barat terus meningkat setiap tahunnya, dengan persentase korban kejahatan di Jawa Barat pada tahun 2020 naik menjadi 1.15%, meningkat 0,25% dari tahun sebelumnya.

Mengatasi kondisi kriminalitas tersebut secara menyeluruh, diperlukan upaya serius dan kolaboratif dari berbagai pihak, termasuk pemerintah, penegak hukum, dan masyarakat, untuk melakukan visualisasi ancaman keamanan ini. Kriminalitas cenderung terkonsentrasi di area tertentu [1], pemetaan ancaman keamanan ini dapat memvisualkan kepadatan serta mengimplementasikan strategi yang tepat guna mengatasi kondisi kriminalitas tersebut secara menyeluruh.

Pemetaan ancaman keamanan sendiri memberikan visualisasi grafis tentang lokasi kriminalitas [2] [3] [4], kecelakaan lalu lintas [5], kejadian rawan kecelakaan [6], dan topik terkait lainnya. Untuk meningkatkan strategi dalam menangani kejahatan, penting untuk memahami pola dan lokasi kejahatan. Patroli oleh pihak berwajib dapat ditingkatkan dengan menggunakan peta yang menunjukkan titik kejahatan atau wilayah dengan tingkat kejahatan yang tinggi. Peta yang mencakup pola aktivitas kriminal dan daerah dengan kepadatan tinggi dapat sangat bermanfaat untuk meningkatkan keamanan [2].

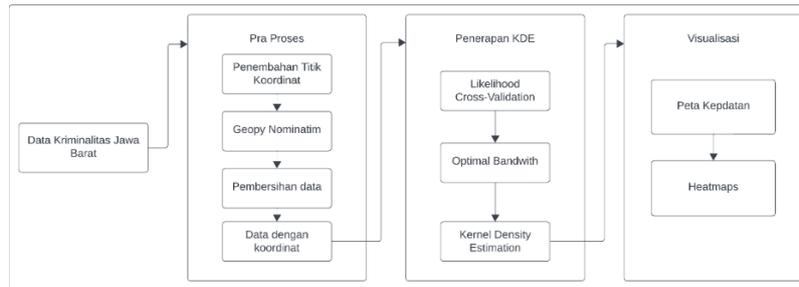
Sehingga pada beberapa penelitian sebelumnya sudah dilakukan pemetaan kriminalitas dengan menggunakan teknik *hotspot* analisis untuk menentukan kepadatan kejadian kejahatan. Pada penelitian terdahulu melakukan pemetaan lokasi kejahatan dengan metode seperti KDE (*Kernel Density Estimation*), IDW (*Inverse Distance Weighting*), dan Getis-Ord G_i^* . Dari penelitian tersebut IDW terbatas pada fitur titik saja, dan cenderung memberikan bobot yang lebih besar pada titik-titik yang berdekatan. Sementara KDE menawarkan pendekatan yang lebih luas dan lebih dinamis dalam memodelkan distribusi kepadatan probabilitas dari data [2]. Pada penelitian serupa mengukur akurasi KDE dalam kasus perampokan di rumah, hasil yang disajikan akurasi PAI untuk daerah Gothenburg berkisar antara 52% hingga 82% saat membandingkan hasil dari tiga data yang berbeda, dan akurasi rata-rata sekitar 72%. Hasil menunjukkan bahwa setidaknya 100 kejahatan diperlukan untuk *hotspot* yang stabil [7]. Penelitian sebelumnya melakukan analisis spasial pada kasus kriminal di kota San Francisco dengan menggunakan KDE *hotspot analysis*, dapat mengestimasi distribusi kepadatan peristiwa pada tingkat lokal, dan mengidentifikasi *hotspot* yang signifikan secara statistik dalam dataset yang digunakan. Akan tetapi informasi yang direpresentasikan oleh permukaan kepadatan, hasilnya tergantung pada pilihan lebar *bandwidth* kernel dan ukuran grid output [8].

Pemilihan *bandwidth* penting dalam Kernel Density Estimation (KDE), *bandwidth* sendiri yaitu untuk menentukan ukuran dan bentuk cluster atau titik-titik kejadian kejahatan secara spasial [9]. Pengaturan *bandwidth* mempengaruhi seberapa halus atau kasar estimasi kepadatan probabilitas dari data yang diamati. Dalam penelitian terdahulu ditemukan pada penggunaan *bandwidth* manual menggunakan 400m menghasilkan rata-rata 52% sampai dengan 75% sedangkan pada penggunaan *bandwidth* 800m menghasilkan 45% sampai dengan 77% [10]. Dalam penelitian sebelumnya membandingkan ketiga peta kejahatan pada peta berbasis kepadatan, peta yang menggunakan *bandwidth* Scott dan Silverman's cenderung *over-smoothing* yang berarti bahwa estimasi kepadatan probabilitas yang dihasilkan oleh KDE dengan *bandwidth* tersebut terlalu halus dan tidak memperhitungkan variasi spasial yang signifikan dalam data kejahatan yang sebenarnya, sedangkan *bandwidth* Maximum Likelihood Cross-Validation MLCV relatif under-smoothing [11]. Namun MLCV memberikan estimasi kepadatan yang tidak merata.

Berdasarkan penelitian terdahulu, maka pada penelitian ini difokuskan pada analisis spasial dan pemetaan menggunakan metode KDE dengan pemilihan *bandwidth* menggunakan LCV yaitu kombinasi baru dari sebelumnya, yang bertujuan untuk menemukan nilai *bandwidth* optimal untuk mendapatkan hasil visualisasi yang lebih baik.

2. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan untuk analisis spasial terhadap pola kejadian kriminalitas untuk pemetaan ancaman keamanan, dimana dataset diambil dari tindak kejahatan berdasarkan jenis kriminalitas di Provinsi Jawa Barat dari tahun 2019 s.d. 2021. Dataset ini dihasilkan oleh Dinas Pemberdayaan Masyarakat dan Desa yang dikeluarkan dalam periode 1 tahun sekali. Lalu data akan ditambahkan titik koordinat yang berupa Latitude dan Longitude di setiap data. Kemudian pemilihan *bandwidth* menggunakan LCV untuk memilih parameter optimal dan mengukur seberapa halus atau kasar estimasi kepadatan probabilitas dari data yang divisualkan. Setelah itu kepadatan kejadian kriminalitas akan dipetakan distribusi spasial dari pola kejadian kriminalitas menggunakan teknik KDE seperti pada Gambar 1 metodologi penelitian di bawah ini.



Gambar 1. Metode Penelitian

2.1. Perolehan Data

Data tindak kejahatan berdasarkan jenis kriminalitas di Provinsi Jawa Barat di peroleh dari Dinas Pemberdayaan Masyarakat dan Desa di Provinsi Jawa Barat dari tahun 2019 s.d. 2021. Berikut merupakan contoh data lokasi kriminalitasnya pada Tabel 1.

Tabel 1. Perolehan Data

Provinsi	Kabupaten/Kota	Kecamatan	Kelurahan
JAWA BARAT	KABUPATEN BOGOR	GUNUNG PUTRI	CIANGSANA
JAWA BARAT	KABUPATEN BOGOR	GUNUNG PUTRI	GUNUNG PUTRI
JAWA BARAT	KABUPATEN BOGOR	GUNUNG PUTRI	KARANGGAN
JAWA BARAT	KABUPATEN BOGOR	CITEUREUP	LEUWINUTUG
...
JAWA BARAT	KABUPATEN SUKABUMI	CICURUG	MEKARSARI

Data ini masih belum terdapat koordinat geografis yang dibutuhkan dalam melakukan analisis spasial dan pemetaan menggunakan KDE. Pada tahap selanjutnya akan dilakukan pra proses untuk dilakukan penerapan Latitude dan Longitude.

2.2. Pra Proses

Langkah dalam pra proses, menggunakan tools *Geopy Nominatim* untuk menyambungkan data kedalam *Openstreet Maps* untuk mencari nilai latitude dan untuk longitude dengan melakukan geocoding. Dalam proses ini akan di lakukan iterasi melalui setiap baris data dengan menginisialisasi kolom baru terlebih dahulu. Kemudian, membentuk alamat dari komponen lokasi yang tersedia dalam kolom data, seperti provinsi, kabupaten/kota, kecamatan, dan desa/kelurahan. Setelah itu, menggunakan fungsi geolokasi untuk mendapatkan koordinat yang sesuai dengan alamat terdapat kolom tersebut sebagai parameter address. Berikut merupakan data yang telah di geocoding di tampilan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perolehan Data

Provinsi	...	...	Kelurahan	Latitude	Longitude
JAWA BARAT	...	...	CIANGSANA	-6,3681268	106,9517499
JAWA BARAT	...	...	GUNUNG PUTRI	-6,459722	106,890833
JAWA BARAT	...	...	KARANGGAN	-6,4515915	106,8926437
JAWA BARAT	...	...	LEUWINUTUG	-6,503742	106,867701287681
...
JAWA BARAT	...	...	MEKARSARI	-6,4175144	106,9934547

2.3. Pemilihan Bandwidth

Salah satu metode yang digunakan untuk memilih *bandwidth* optimal adalah LCV. LCV yaitu metode untuk memilih parameter optimal dalam suatu model statistik. Metode ini umumnya digunakan dalam konteks pemilihan *bandwidth* dalam KDE [11]. LCV digunakan untuk menentukan nilai *h* yang akan digunakan pada parameter KDE diperoleh persamaan (1) berikut.

$$h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log f_{h\pm i}(X_i) \tag{1}$$

Dimana *h* yaitu *bandwidth* yang sedang dievaluasi, *n* Jumlah total titik data, *X_i* titik data ke-*i*, *f_{h±i}(X_i)* Estimasi kepadatan probabilitas di titik data *X_i* dengan menggunakan *bandwidth h*, ±*i* Ini menunjukkan bahwa kita sedang mempertimbangkan data pada jarak ±*i* dari titik data *X_i*, kemudian Log adalah fungsi logaritma alami, yang digunakan di sini untuk menghitung *likelihood*.

Tahapan dengan menggunakan metode LCV, nilai *bandwidth* yang memberikan nilai LCV tertinggi dianggap sebagai *bandwidth* optimal untuk KDE, karena memberikan estimasi kepadatan probabilitas yang paling akurat berdasarkan data yang diamati [9].

2.4. Kernel Density Estimation

Kernel Density Estimation (KDE) adalah metode non-parametrik untuk memperkirakan bentuk fungsi kepadatan. Metode ini digunakan untuk menghasilkan peta kepadatan titik yang membantu dalam analisis pola titik, termasuk analisis kejahatan. Peta kepadatan titik yang dihasilkan menyoroti area di mana titik-titik terkonsentrasi dan area di mana titik-titik tersebut jarang [8] [3]. Dalam konteks ini, x_1, \dots, x_n adalah sampel yang dipilih secara independen dan acak yang diasumsikan berasal dari populasi dengan fungsi distribusi kepadatan f , di mana $f(x)$ adalah nilai f pada titik x [12]. Secara umum, dengan menggunakan KDE *Rosenblatt-Parzen*, dapat diperoleh persamaan (2) berikut:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (2)$$

Dimana, $K()$ disebut fungsi kernel, h adalah bandwidth, yang selalu lebih besar dari 0, dan $(x - x_n)$ adalah jarak dari titik estimasi ke sampel x_n . KDE mengestimasi kepadatan titik data di suatu area dengan menghitung kontribusi setiap titik terhadap setiap estimasi titik di grid area. Hal ini membantu dalam memahami distribusi spasial dari data yang diamati [12].

Selanjutnya, kernel didefinisikan sebagai fungsi non-negatif yang simetris di sekitar titik asal dan memiliki nilai integral 1 [11]. *Kernel Gaussian* merupakan salah satu jenis fungsi kernel yang digunakan dalam metode KDE untuk mengestimasi densitas probabilitas suatu distribusi data. Berikut ini adalah penerapannya pada persamaan (3).

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}h} e^{-0,5\frac{x^2}{2h^2}} \quad (3)$$

Dimana, x mewakili jarak antara titik yang dievaluasi dan titik data. Sementara itu, h menunjukkan *bandwidth* atau lebar kernel, yang mengontrol seberapa "lebar" atau "sempit" kurva lonceng.

2.5. Visualisasi Hasil

Kriteria untuk mengidentifikasi area dengan kepadatan titik api yang tinggi dapat digunakan untuk menunjukkan area dengan tingkat kriminalitas tinggi secara spesifik. Pada tahap pertama, data terdiri dari koordinat geocode atau (x, y) dari peta kejadian kejahatan. Sebuah grid kemudian dibuat untuk mencakup area titik-titik kejahatan. Ukuran grid, yang disebut sebagai ukuran grid keluaran, diukur dalam satuan meter. Ukuran sel keluaran diatur ke ukuran tertentu: 50 m, mewakili persegi berukuran 50 m x 50 m di permukaan tanah. Pada tahap selanjutnya, *bandwidth* yang ditentukan pada proses sebelumnya digunakan. Tahap terakhir melibatkan pemrosesan setiap sel grid dan memberikan nilai yang berhubungan dengan jumlah titik di dalam atau di dekatnya [13]. Ketika nilai kerapatan ini diterapkan pada setiap sel, maka akan menghasilkan peta kerapatan permukaan yang kontinu, membentuk peta kerapatan atau peta titik panas [13].

2.6. Evaluasi Matrix

Predict Accuracy Index (PAI) mengukur keandalan dan keakuratan teknik pemetaan titik panas dalam memprediksi di mana kejahatan mungkin terjadi. Indeks ini memperhitungkan fakta bahwa area dapat bervariasi dari satu titik panas ke titik panas lainnya. Jika sebuah *hotspot* mencakup area yang luas dan semua kejahatan di masa depan terjadi di area tersebut, akurasi mungkin terlihat sangat tinggi tanpa pembenaran yang kuat. Hal yang sama juga berlaku jika banyak area *hotspot* yang terdeteksi. PAI dihitung berdasarkan area dan akurasi, memberikan pengukuran yang lebih tepat dari akurasi *hotspot* [7]. Berikut ini akan ditunjukkan pada persamaan (4).

$$Accuracy = \frac{n}{N} \quad (4)$$

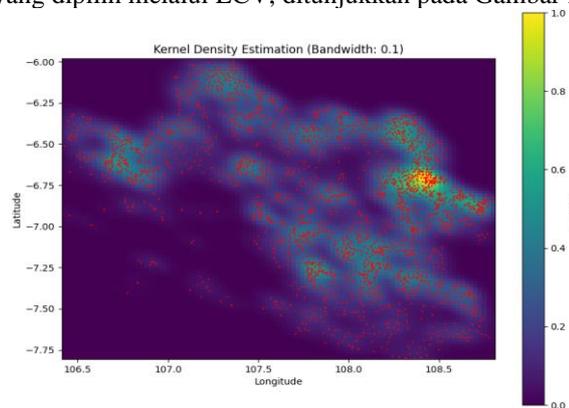
Akurasi terdiri dari jumlah kejahatan di masa depan di dalam area *hotspot* yang diprediksi (n) relatif terhadap jumlah total kejahatan di masa depan (N), lihat persamaan (4).

$$PAI = \frac{\frac{n}{N}}{\frac{a}{A}} \quad (5)$$

Pada Persamaan (5), (a) merupakan total area di mana kejahatan diprediksi terjadi (area dari seluruh titik panas), dan (A) adalah area dari lokasi yang dianalisis. Jika 100% kejahatan dari set pengujian berada di dalam sejumlah titik panas, dan total area titik panas sama dengan total area yang dianalisis, maka PAI akan menjadi 1, yang mengindikasikan nilai PAI yang buruk. Selain itu, menemukan 90% kejahatan uji dalam 30% area yang dianalisis akan menghasilkan nilai PAI 3. Dengan demikian, PAI meningkat seiring dengan berkurangnya area *hotspot*.

3. Hasil dan Pembahasan

Nilai *bandwidth* yang akan diuji oleh LCV dihasilkan dari 10 yang dipangkatkan dengan nilai antara -1 hingga 1, menghasilkan 100 nilai yang terdistribusi secara merata. Array ini berisi 100 nilai yang terdistribusi secara merata dari -1 hingga 1. Nilai tertinggi yang diperoleh dari LCV adalah -1.04705389, yang dicapai dengan nilai *bandwidth* sebesar 0,1. Kemudian hasil pemetaan ancaman keamanan dengan menggunakan metode KDE memungkinkan identifikasi area dengan tingkat kejahatan tinggi dengan menerapkan kriteria tertentu, seperti area dengan banyak titik api. Kriteria ini dapat digunakan untuk menentukan area dengan tingkat kejahatan yang tinggi secara lebih tepat. Hasil pemetaan titik panas, yang dilakukan dengan *bandwidth* yang dipilih melalui LCV, ditunjukkan pada Gambar 2.



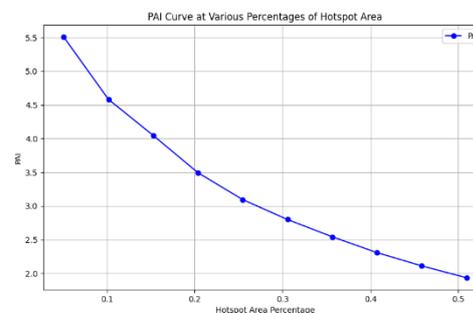
Gambar 2. HeatMaps

Metrik seperti akurasi dan PAI dihitung berdasarkan persentase tertentu dari area *hotspot*, yang ditentukan oleh tingkat ambang batas yang berbeda-beda. Dengan mempertimbangkan bahwa nilai PAI *berfluktuasi* dengan perubahan persentase area *hotspot*, kurva PAI menghitung PAI pada berbagai persentase area *hotspot* yang signifikan dan memplot distribusi ambang batas mulai dari 50% hingga 95% dengan kenaikan 5%.

Pada ambang batas antara 55% dan 65%, akurasi berkisar antara 90% hingga 96%, dengan nilai PAI di atas 1. Kemudian, pada ambang batas antara 70% dan 80%, akurasi berkisar antara 71% hingga 85%, dengan nilai PAI 2,799 pada ambang batas 70%, 3,094 pada 75%, dan 3,494 pada 80%. Hasil ini menunjukkan peningkatan akurasi dengan penurunan ambang batas, tetapi peningkatan nilai PAI yang sesuai dengan peningkatan ambang batas. Hasil pengujian metode ini menunjukkan bahwa akurasi meningkat seiring dengan meningkatnya ambang batas, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3 dan untuk kurva nya dapat di lihat pada Gambar 3.

Tabel 3. Hasil Evaluasi PAI LCV

Threshold	Accuracy	Area percentage	PAI
50%	0.985	0.509	1.934
55%	0.967	0.458	2.110
60%	0.940	0.407	2.307
65%	0.906	0.356	2.542
70%	0.855	0.305	2.799
75%	0.788	0.254	3.094
80%	0.711	0.203	3.494
85%	0.618	0.152	4.047
90%	0.466	0.101	4.583
95%	0.280	0.050	5.510



Gambar 3. Kurva PAI

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan *bandwidth* menggunakan LCV memberikan performa baik pada area yang luas. Dimana pemilihan *bandwidth* menggunakan LCV mendapatkan akurasi 98% pada 50% area yang dianalisis sedangkan pada area yang lebih kecil mendapatkan akurasi 28%, dengan begitu pemilihan *bandwidth* sangat penting dalam melakukan pemetaan menggunakan metode KDE dan penggunaan LCV dalam memilih *bandwidth* efektif untuk meningkatkan performa metode pada area yang luas. Selain itu penentuan area *hotspot* bergantung pada ambang batas yang digunakan untuk menentukan nilai kepadatan kejahatan. Ambang batas ini bisa berubah-ubah dan mempengaruhi hasil analisis. Biasanya dinyatakan sebagai persentase misalnya, ambang batas 20 persen berarti mengidentifikasi area sebagai hotspot jika nilai kepadatannya lebih tinggi dari persentil ke-80 dari seluruh nilai kepadatan. Dengan menggunakan ambang batas yang bervariasi, bisa menyesuaikan analisis untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang distribusi kejadian kejahatan dan efektivitas prediksi *hotspot*. Dari hasil analisis dan evaluasi dari penelitian ini menegaskan bahwa pemilihan *bandwidth* menggunakan LCV dan menggunakan ambang batas yang bervariasi untuk menentukan area kepadatan tinggi efektif dalam melakukan pemetaan kejadian kriminalitas. Pada hasil penelitian ini menemukan area tertinggi kasus kriminalitas pada daerah Kabupaten Cirebon.

Daftar Pustaka

- [1] W. Bernasco, S. D. Johnson, and S. Ruiter, "Learning where to offend: Effects of past on future burglary locations," *Applied Geography*, vol. 60, pp. 120–129, 2015, doi: 10.1016/j.apgeog.2015.03.014.
- [2] S. M. Ansari, "Mapping and Analysis of Crime in Aurangabad City using GIS," *IOSR Journal of Computer Engineering*, vol. 16, no. 4, pp. 67–76, 2014, doi: 10.9790/0661-16476776.
- [3] T. Hart and P. Zandbergen, "Kernel density estimation and hotspot mapping: Examining the influence of interpolation method, grid cell size, and bandwidth on crime forecasting," *Policing*, vol. 37, no. 2, pp. 305–323, 2014, doi: 10.1108/PIJPSM-04-2013-0039.
- [4] Z. Wang, J. Wu, and B. Yu, "Analyzing spatio-temporal distribution of crime hot-spots and their related factors in Shanghai, China," *Proceedings - 2011 19th International Conference on Geoinformatics, Geoinformatics 2011*, 2011, doi: 10.1109/GeoInformatics.2011.5981000.
- [5] N. Manap, M. N. Borhan, M. Razuhanafi, and M. Yazid, "Determining Spatial Patterns of Road Accidents at Expressway by Applying Getis-Ord G_i^* Spatial Statistic," *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8, no. 3S3, pp. 345–350, Dec. 2019, doi: 10.35940/ijrte.C1004.1183S319.
- [6] R. I. A. Sartavie, Noviani, A. A. D. Cahyo, and S. Anwar, "Implementasi Kernel Density Pada Analisa Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas Provinsi Dki Jakarta," *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, vol. 27, no. 2, pp. 159–168, 2022, doi: 10.35760/ik.2022.v27i2.6600.
- [7] E. Johansson, C. Gahlin, and A. Borg, "Crime Hotspots: An Evaluation of the KDE Spatial Mapping Technique," *Proceedings - 2015 European Intelligence and Security Informatics Conference, EISIC 2015*, pp. 69–74, 2016, doi: 10.1109/EISIC.2015.22.
- [8] M. Kalinic and J. Krisp M., "66 Kernel Density Estimation (KDE) vs. Hot-Spot Analysis - Detecting Criminal Hot Spots in the City of San Francisco_UPDATE," *Agile*, pp. 1–5, 2018.
- [9] Y. Hu, F. Wang, C. Guin, and H. Zhu, "A spatio-temporal kernel density estimation framework for predictive crime hotspot mapping and evaluation," *Applied Geography*, vol. 99, no. August, pp. 89–97, 2018, doi: 10.1016/j.apgeog.2018.08.001.
- [10] L. Thakali, T. J. Kwon, and L. Fu, "Identification of crash hotspots using kernel density estimation and kriging methods: a comparison," *Journal of Modern Transportation*, vol. 23, no. 2, pp. 93–106, 2015, doi: 10.1007/s40534-015-0068-0.
- [11] Y. Kim, G. Kim, Y. Lee, and K. Jang, "Bandwidth Selection of Kernel Density Estimation for GIS-based Crime Occurrence Map Visualization," in *2020 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, IEEE, Oct. 2020, pp. 1705–1708. doi: 10.1109/ICTC49870.2020.9289633.
- [12] X. Cai, Z. Wu, and J. Cheng, "Using kernel density estimation to assess the spatial pattern of road density and its impact on landscape fragmentation," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 27, no. 2, pp. 222–230, 2013, doi: 10.1080/13658816.2012.663918.
- [13] H. S. Choo *et al.*, "Science & Technology Research Institute for Defence (Stride)," *Development*, vol. 1, 2020.