Arus Jurnal Sains dan Teknologi (AJST)
Website: http://jurnal.ardenjaya.com/index.php/ajst
Email: jurnal.ajst@ardenjaya.com

Identifikasi Daerah Rawan Kecelakaan (*Black Site*) pada Ruas Jalan Tol Cikopo–Palimanan menggunakan Metode Frekuensi, Cumulative Sum (CUSUM), Clustering, dan Kernel Density Estimation (KDE)

INFO PENPULIS

Akbar Kusuma Wardana
Universitas Muhadi Setiabudi
kusumaakbar2702@gmail.com

Mohamad Yunus
Universitas Muhadi Setiabudi
yunus.gb89@gmail.com

Dwi Denny Apriliano
Universitas Muhadi Setiabudi
dwidennyapriliano@gmail.com

INFO ARTIKEL

ISSN: 3026-3603
Vol. 4, No. 2 Oktober 2026
http://jurnal.ardenjaya.com/index.php/ajst

© 2026 Arden Jaya Publisher All rights reserved

Saran Penulisan Referensi:

Wardana, A. K., Yunus, M., Apriliano, D. D. (2026). Identifikasi Daerah Rawan Kecelakaan (Black Site) pada Ruas Jalan Tol Cikopo–Palimanan menggunakan Metode Frekuensi, Cumulative Sum (CUSUM), Clustering, dan Kernel Density Estimation (KDE)*Arus Jurnal Sains dan Teknologi , 4* (2),470-475.

Abstrak

Kecelakaan lalu lintas pada jalan tol masih menjadi salah satu permasalahan keselamatan transportasi yang memerlukan penanganan berbasis data. Jalan Tol Cikopo–Palimanan (Cipali) merupakan salah satu ruas tol strategis nasional dengan volume lalu lintas yang tinggi sehingga memiliki potensi terjadinya kecelakaan pada beberapa segmen jalan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi daerah rawan kecelakaan (black site) pada ruas Jalan Tol Cipali KM 72 sampai KM 102 menggunakan kombinasi metode Frekuensi, Cumulative Sum (CUSUM), Clustering berdasarkan tingkat fatalitas, serta Kernel Density Estimation (KDE) berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Data yang digunakan berupa data sekunder kecelakaan lalu lintas tahun 2023 yang diperoleh dari PT Lintas Marga Sedaya dan dibagi berdasarkan segmen sepanjang satu kilometer. Analisis frekuensi digunakan untuk mengetahui distribusi jumlah kecelakaan, sedangkan metode CUSUM digunakan untuk mengidentifikasi segmen yang mengalami penyimpangan kumulatif terhadap rata-rata kejadian kecelakaan. Selanjutnya dilakukan analisis clustering berdasarkan tingkat fatalitas serta pemetaan spasial menggunakan KDE pada perangkat lunak ArcGIS untuk menggambarkan tingkat kerawanan kecelakaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi metode tersebut mampu mengidentifikasi lokasi-lokasi prioritas penanganan kecelakaan secara lebih komprehensif dibandingkan penggunaan satu metode saja. Peta hasil Kernel Density Estimation memperlihatkan konsentrasi kejadian kecelakaan pada beberapa segmen yang memiliki tingkat kerawanan tinggi sehingga dapat dijadikan dasar dalam penyusunan strategi peningkatan keselamatan jalan melalui perbaikan fasilitas jalan, pemasangan perlengkapan keselamatan, serta peningkatan pengawasan lalu lintas.

Kata kunci: Black Site; CUSUM; Frekuensi Kecelakaan; Kernel Density Estimation; Jalan Tol Cipali.

Abstract

raffic accidents on toll roads remain a major transportation safety issue requiring data-driven mitigation strategies. The Cikopo–Palimanan (Cipali) Toll Road is one of Indonesia's strategic national toll roads with high traffic volumes, making several road segments susceptible to traffic accidents. This study aims to identify accident-prone areas (black sites) along KM 72–KM 102 of the Cipali Toll Road using a combination of Frequency Analysis, Cumulative Sum (CUSUM), fatality-based Clustering, and Geographic Information System (GIS)-based Kernel Density Estimation (KDE). Secondary traffic accident data for 2023 obtained from PT Lintas Marga Sedaya were analyzed using one-kilometer road segments. Frequency analysis was used to determine accident distribution, while the CUSUM method identified cumulative deviations from the average number of accidents. Furthermore, clustering analysis based on accident severity and KDE spatial analysis using ArcGIS were performed to classify accident-prone locations. The results indicate that the combination of these methods provides a more comprehensive identification of priority accident-prone locations than the application of a single method. The KDE map reveals several segments with high accident density, providing valuable information for determining priority safety improvement programs through road facility enhancement, traffic safety equipment installation, and improved traffic monitoring.

Keywords: Black Site; CUSUM; Frequency Analysis; Kernel Density Estimation; Toll Road.

A. Pendahuluan

Keselamatan lalu lintas merupakan salah satu indikator penting dalam penyelenggaraan sistem transportasi yang berkelanjutan. Meskipun jalan tol dirancang dengan standar geometrik dan fasilitas keselamatan yang lebih baik dibandingkan jalan umum, kecelakaan lalu lintas masih sering terjadi akibat interaksi antara faktor manusia, kendaraan, kondisi jalan, dan lingkungan. Tingginya kecepatan operasional kendaraan pada jalan tol menyebabkan tingkat keparahan kecelakaan menjadi lebih tinggi sehingga diperlukan upaya identifikasi lokasi rawan kecelakaan sebagai dasar penyusunan program penanganan yang efektif.

Jalan Tol Cikopo–Palimanan (Cipali) merupakan salah satu ruas jalan tol strategis di Indonesia yang menghubungkan wilayah Jakarta dengan Jawa Tengah. Ruas jalan ini memiliki volume lalu lintas yang tinggi, khususnya pada masa libur nasional dan arus mudik, sehingga berpotensi mengalami peningkatan jumlah kecelakaan lalu lintas. Identifikasi lokasi rawan kecelakaan pada ruas Tol Cipali menjadi langkah penting dalam mendukung peningkatan keselamatan pengguna jalan serta membantu pengelola jalan tol dalam menentukan prioritas penanganan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengidentifikasi daerah rawan kecelakaan menggunakan metode Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK), Upper Control Limit (UCL), maupun CUSUM pada beberapa ruas jalan tol di Indonesia. Namun, sebagian besar penelitian tersebut hanya menggunakan satu metode analisis sehingga hasil identifikasi masih terbatas pada aspek frekuensi atau tingkat kecelakaan saja. Penelitian mengenai Jalan Tol Cipali juga masih relatif terbatas, terutama yang mengintegrasikan analisis statistik, pengelompokan tingkat fatalitas, dan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis secara bersamaan.

Penelitian ini menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif melalui kombinasi metode Frekuensi, Cumulative Sum (CUSUM), Clustering berdasarkan tingkat fatalitas, dan Kernel Density Estimation (KDE) berbasis ArcGIS. Integrasi keempat metode tersebut memungkinkan identifikasi lokasi rawan kecelakaan tidak hanya berdasarkan jumlah kejadian, tetapi juga mempertimbangkan pola penyimpangan statistik, tingkat keparahan kecelakaan, dan distribusi spasial sehingga menghasilkan informasi yang lebih akurat dalam menentukan prioritas penanganan keselamatan jalan.

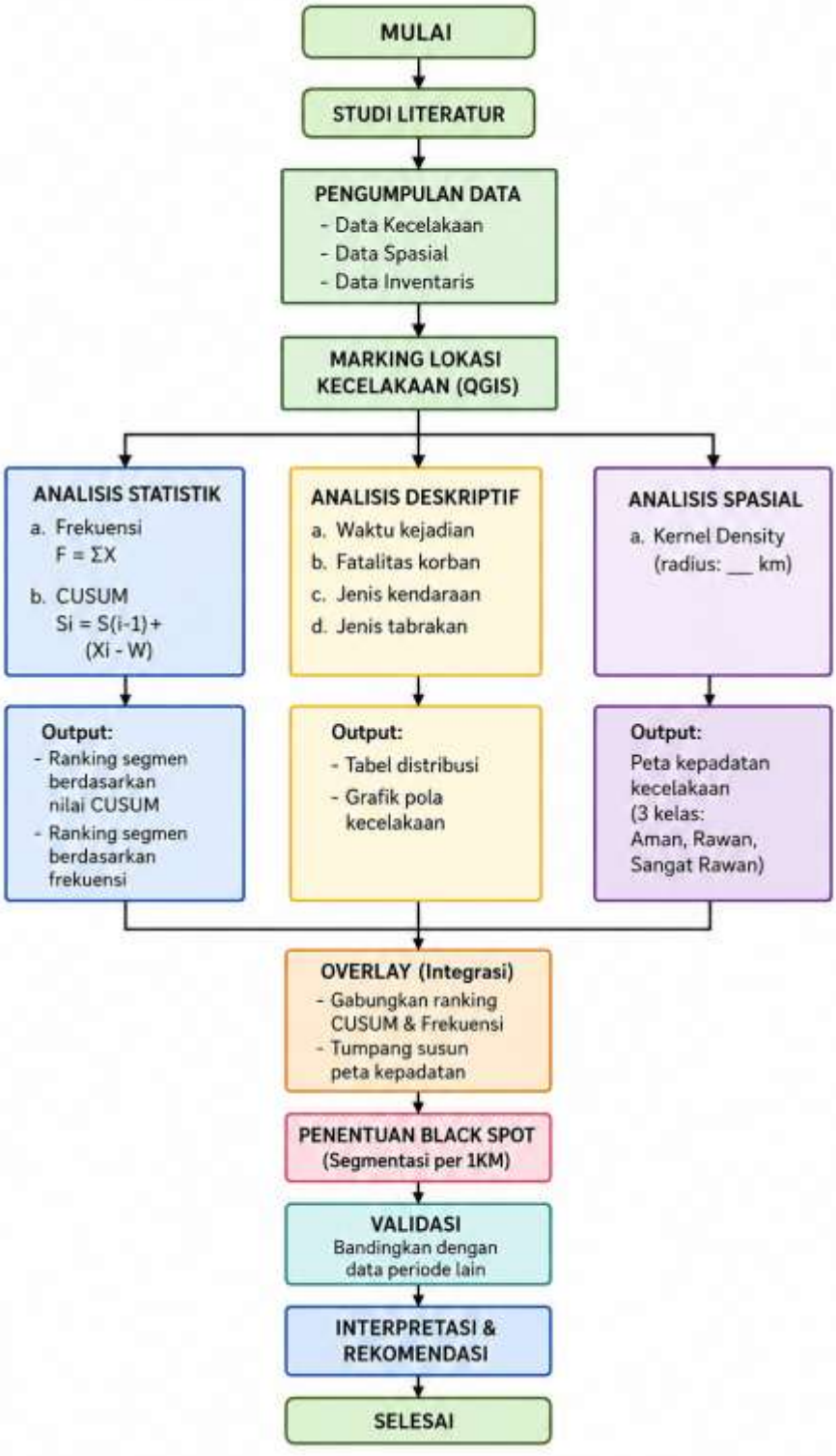
Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi daerah rawan kecelakaan (black site) pada ruas Jalan Tol Cikopo–Palimanan KM 72 sampai KM 102 berdasarkan data kecelakaan tahun 2023 menggunakan metode Frekuensi, CUSUM, Clustering, dan Kernel Density Estimation berbasis Sistem Informasi Geografis sebagai dasar penyusunan rekomendasi peningkatan keselamatan lalu lintas.

B. Metodologi

Penelitian dilaksanakan pada ruas Jalan Tol Cikopo–Palimanan (Cipali) segmen KM 72 hingga KM 102. Ruas tersebut dipilih karena merupakan salah satu koridor utama transportasi nasional yang memiliki volume lalu lintas tinggi dan tingkat risiko kecelakaan yang relatif besar, terutama pada periode arus mudik dan libur nasional. Unit analisis penelitian dibagi menjadi segmen sepanjang 1 km untuk memudahkan identifikasi lokasi rawan kecelakaan (black site).

Penelitian menggunakan data sekunder berupa data kecelakaan lalu lintas tahun 2023 yang diperoleh dari PT Lintas Marga Sedaya (Astra Tol Cipali) dan/atau Kepolisian Patroli Jalan Raya (PJR). Data yang dianalisis meliputi lokasi kejadian (KM), jumlah kecelakaan, tingkat fatalitas korban, waktu kejadian, jenis kecelakaan, serta informasi pendukung lainnya yang berkaitan dengan karakteristik kecelakaan. Selain itu, digunakan pula data geometrik jalan dan data spasial sebagai pendukung analisis menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG).

Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



C. Hasil dan Pembahasan

1. Analisis frekuensi Kecelakaan

Analisis frekuensi digunakan untuk mengetahui distribusi jumlah kecelakaan pada setiap segmen jalan. Semakin tinggi jumlah kejadian kecelakaan pada suatu segmen, maka semakin besar indikasi bahwa segmen tersebut memiliki potensi sebagai daerah rawan kecelakaan.
Persamaan yang digunakan adalah:
Fi=ni
dengan:
Fi = frekuensi kecelakaan pada segmen ke-i
nin_ini = jumlah kejadian kecelakaan pada segmen ke-i

Hasil analisis frekuensi digunakan sebagai dasar identifikasi awal terhadap segmen yang memiliki jumlah kecelakaan tertinggi sebelum dilakukan analisis statistik lanjutan menggunakan metode CUSUM.

2. Analisis Cumulative Sum (CUSUM)

Metode Cumulative Sum (CUSUM) digunakan untuk mendeteksi penyimpangan kumulatif jumlah kecelakaan terhadap nilai rata-rata kecelakaan seluruh segmen jalan. Metode ini lebih sensitif dibandingkan analisis frekuensi karena mampu mengidentifikasi perubahan pola kecelakaan secara bertahap.
Persamaan CUSUM dituliskan sebagai berikut:
Si=Si−1+(Xi−X¯)
dengan:
Si = nilai CUSUM pada segmen ke-i
Si−1S_{i-1}Si−1 = nilai CUSUM sebelumnya
XiX_iXi = jumlah kecelakaan pada segmen ke-i
X¯\bar XX¯ = rata-rata jumlah kecelakaan seluruh segmen

Nilai CUSUM positif menunjukkan bahwa jumlah kecelakaan pada suatu segmen berada di atas rata-rata, sedangkan nilai negatif menunjukkan jumlah kecelakaan berada di bawah rata-rata. Segmen dengan nilai CUSUM tertinggi diidentifikasi sebagai lokasi prioritas penanganan (black site).

3. Cluster Analysis Berdasarkan Tingkat Fatalitas

Cluster Analysis digunakan untuk mengelompokkan lokasi kecelakaan berdasarkan tingkat fatalitas korban sehingga diperoleh kelompok segmen dengan karakteristik kecelakaan yang serupa. Pengelompokan dilakukan menggunakan data jumlah korban meninggal dunia, luka berat, dan luka ringan sehingga setiap segmen memiliki tingkat risiko yang berbeda.

Penggunaan metode clustering bertujuan untuk mempermudah interpretasi karakteristik kecelakaan sehingga strategi penanganan dapat disesuaikan dengan tingkat keparahan kecelakaan pada masing-masing kelompok.

4. Kernel Density Estimation (KDE)

Kernel Density Estimation (KDE) merupakan metode analisis spasial yang digunakan untuk memperkirakan tingkat kepadatan kejadian kecelakaan berdasarkan distribusi titik lokasi kecelakaan.
Secara umum fungsi KDE dinyatakan sebagai:
f^(x)=1/nh=n∑iK((x−xi)/h)
dengan:
f^(x) = nilai kepadatan
KKK = fungsi kernel
hhh = bandwidth
nnn = jumlah titik kecelakaan
xix_ixi = lokasi titik kecelakaan

Analisis KDE dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS untuk menghasilkan peta kepadatan kecelakaan yang kemudian diklasifikasikan menjadi tiga tingkat kerawanan, yaitu aman, rawan, dan sangat rawan, berdasarkan metode Natural Breaks (Jenks).

D. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi daerah rawan kecelakaan (black site) pada ruas Jalan Tol Cikopo–Palimanan (Cipali) KM 72–KM 102 berdasarkan data kecelakaan tahun 2023 menggunakan kombinasi metode Frekuensi, Cumulative Sum (CUSUM), Cluster Analysis, dan Kernel Density Estimation (KDE) berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Pendekatan yang digunakan mampu memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai karakteristik dan persebaran kecelakaan dibandingkan penggunaan satu metode analisis saja.

Analisis frekuensi menunjukkan distribusi jumlah kecelakaan pada setiap segmen jalan sehingga dapat diketahui segmen dengan tingkat kejadian tertinggi. Selanjutnya, metode CUSUM mampu mendeteksi penyimpangan kumulatif jumlah kecelakaan terhadap nilai rata-rata sehingga lokasi yang memiliki tingkat risiko lebih tinggi dapat diidentifikasi sebagai prioritas penanganan.

Hasil Cluster Analysis memperlihatkan adanya pengelompokan segmen berdasarkan tingkat fatalitas kecelakaan, sedangkan analisis Kernel Density Estimation (KDE) menghasilkan peta kepadatan kecelakaan yang memperjelas pola persebaran spasial daerah rawan kecelakaan pada ruas Jalan Tol Cipali. Integrasi analisis statistik dan analisis spasial tersebut memberikan informasi yang lebih akurat dalam menentukan lokasi prioritas peningkatan keselamatan lalu lintas.

Berdasarkan hasil penelitian, kombinasi metode Frekuensi, CUSUM, Cluster Analysis, dan KDE terbukti efektif sebagai pendekatan dalam identifikasi black site pada jalan tol. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengelola Jalan Tol Cipali, kepolisian, dan instansi terkait dalam menetapkan prioritas penanganan melalui peningkatan fasilitas keselamatan jalan, pemasangan rambu dan perlengkapan jalan, peningkatan pengawasan lalu lintas, serta penyusunan kebijakan keselamatan yang lebih tepat sasaran untuk menurunkan risiko kecelakaan pada ruas Jalan Tol Cipali.

E. Referensi

Brasie Pradana, dkk. (2024). Rekomendasi Penanganan Kecelakaan Dalam Penentuan Daerah Rawan Kecelakaan.

Brilianti, D. F., dkk. (2025). Analisis dan Rekomendasi Daerah Rawan Kecelakaan Pada Jalan Tol Gempol Pasuruan

Direktorat Jenderal Bina Marga. (1999). Pedoman Penanganan Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu Lintas.

Direktorat Jendral Perhubungan Darat. (2006). Pedoman teknis penanganan lokasi Rawan Kecelakaan lalu lintas. Departemen Perhubungan Republik Indonesia

Hanafi, F., Rusgiyarto, R., Pratama, R., & Hatta, M. R. (2019). Analisis Tingkat Keselamatan Jalan Tol Berdasarkan Metode Pembobotan Korlantas (Studi Kasus: Jalan Tol Cipularang).

Izzuddin, A. (2024). Analisis Daerah Rawan Kecelakaan di Ruas Jalan Lintas Banda Aceh-Medan [Skripsi]. Universitas Malikussaleh.

Kamh, H., Alyami, S. H., Khattak, A., Alyami, M., & Almujibah, H. (2024). Exploring road traffic accidents hotspots using clustering algorithms and GIS-based spatial analysis. IEEE Access, 13, 60944-60954.

Kementrian Perhubungan Republik Indonesia. (2015). Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 111 Tahun 2015 tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan. Berita Negara RI Tahun 2015 Nomor 1535

Muh Syamsudin, & Khofifah. (2020). Analisis Kecelakaan Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Tol Pasuruan Probolinggo.

Muto'in, N. F., & Utami, A. (2022). Analisis Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas Menggunakan Metode Accident Rate Dan Equivalent Accident Number (EAN) di Kota Magelang. Jurnal Rekayasa Sipil, 18(1), 60-67.

Ningsih, Z., Abdurrahman, & Adawiyah, R. (2021). Analisis Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas (Studi Empiris Jalan A.Yani Km.48–Km.58 Kabupaten Banjar). Jurnal Teknik Sipil, Universitas Islam Kalimantan.

Nursyahbani, L. (2024). Analisis Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas Menggunakan Metode AEK dan UCL di Jalan Tol Jakarta Cikampek [Skripsi]. Universitas Islam 45 Bekasi.

Oktopianto, Y., & Pangesty, S. (2022). Analisis Daerah Lokasi Rawan Kecelakaan Jalan Tol Tangerang–Merak.

Oktopianto, Y., Shofiah, S., Rokhman, F. A., Wijayanthi, K. P., & Krisdayanti, E. (2021). Analisis

Daerah Rawan Kecelakaan (Black Site) Dan Titik Rawan Kecelakaan (Black Spot) Provinsi Lampung. Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil, 5(1), 40-51.

Pemerintah Republik Indonesia. (2004). Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang jalan. Lembaga Negara RI Tahun 2004 Nomer 132. Sekertariat Negara.

Pemerintah Republik Indonesia. (2005). Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2005 tentang jalan. Lembaga Negara RI Tahun 2005 Nomer 32. Sekertariat Negara.

Pemerintah Republik Indonesia. (2005). Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2005 tentang jalan. Lembaga Negara RI Tahun 2005 Nomer 32. Sekertariat Negara.

Pemerintah Republik Indonesia. (2009). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Lembaga Negara RI Tahun 2009 Nomer 96. Sekertariat Negara.

Pemerintah Republik Indonesia. (2013). Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2013 tentang Lalu lintas dan Angkutan Jalan. Lembaga Negara RI Tahun 2013 Nomer 189. Sekertariat Negara.

Pemerintah Republik Indonesia. (2024). Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2024 tentang Jalan Tol. Lembaga Negara RI Tahun 2024 Nomer 23. Sekertariat Negara.

Sabey, B. E., & Taylor, H. (1980). The Known Risks We Run: The Highway.

Sabitah, S. A., & Muzayanah. (2024). Analisis Daerah Rawan Kecelakaan (Black Site) dan Titik Rawan Kecelakaan (Black Spot) di Ruas Jalan Nasional Kabupaten Sidoarjo. Swara Bhumi: Jurnal Geografi, 1(1), 22-35.

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) (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).

Setyarini, N. L. S. P. E., Prihatiningsih, A., & Sianturi, L. F. N. (2021). Audit Keselamatan Jalan untuk Jalan Tol yang Operasional di Bawah 1 Tahun. JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 4(4), 321-330.

Siregar, A. M. (2025). Analisis Titik Rawan Kecelakaan Lalu Lintas (Black Spot) Pada Ruas Jalan Nasional Jamin Ginting (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).

Zhuang, et al. (2023). Road Safety on Long and Monotonous Expressways.

Zhuang, Y., Dong, C., Mi, X., Wang, J., & Yang, M. (2023). Identification of Accident Black Spots Based on Improved Network Kernel Density and Negative Binomial Regression. Journal of South China University of Technology, 51(2), 45-56.