

**KAJIAN METODE *K-MEANS CLUSTER ANALYSIS* DAN
METODE *ELLIPS* KESALAHAN UNTUK MENENTUKAN
DAERAH RAWAN KECELAKAAN LALU LINTAS**

(Studi Kasus: Jalan Yos Sudarso Bandar Lampung)

(Skripsi)

Oleh

IRZA CHAIRUL ANAM

NPM 2015071008



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**KAJIAN METODE *K-MEANS CLUSTER ANALYSIS* DAN
METODE *ELLIPS* KESALAHAN UNTUK MENENTUKAN
DAERAH RAWAN KECELAKAAN LALU LINTAS**

(Studi Kasus: Jalan Yos Sudarso Bandar Lampung)

Oleh

**IRZA CHAIRUL ANAM
NPM 2015071008**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi Teknik Geodesi
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

KAJIAN METODE K-MEANS CLUSTER ANALYSIS DAN METODE ELLIPS KESALAHAN UNTUK MENENTUKAN DAERAH RAWAN KECELAKAAN LALU LINTAS

(Studi Kasus: Jalan Yos Sudarso Bandar Lampung)

Oleh

IRZA CHAIRUL ANAM

Metode *K-means Cluster Analysis* digunakan untuk mengelompokkan data sebaran kecelakaan ke dalam setiap *cluster* berdasarkan jarak terdekat antara data dengan pusat *cluster*. Metode *Ellips* Kesalahan dapat menentukan distribusi kecelakaan lalu lintas berdasarkan luas *ellips* yang terbentuk. Kedua metode memiliki efisiensi masing-masing. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kombinasi dari kedua metode dalam menentukan daerah rawan kecelakaan lalu lintas di Jalan Yos Sudarso Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang menggunakan data kecelakaan lalu lintas tahun 2019 sampai 2023 dari Satlantas Polresta Bandar Lampung.

Metode *K-means Cluster Analysis* dilakukan dengan menentukan 3 *centroid* awal, kemudian mengelompokkan data ke dalam 3 *cluster* berdasarkan jarak antara data dengan titik pusat *cluster*. Metode *Ellips* Kesalahan dilakukan dengan menghitung matriks variansi kovariansi untuk menentukan nilai unsur-unsur *ellips* untuk menggambarkan luas *ellips*.

Hasil analisis metode *K-means Cluster Analysis* membentuk 3 *cluster* yaitu C1, C2, dan C3 dengan C2 dikategorikan sebagai daerah rawan kecelakaan. *Centroid* C1 terletak di segmen 4 dengan 9 kejadian kecelakaan, *centroid* C2 terletak di segmen 10 dengan 32 kejadian kecelakaan, dan *centroid* C3 terletak di segmen 15 dengan 14 kejadian kecelakaan. Analisis metode *Ellips* Kesalahan membentuk *ellips* dengan luas 3,14 km² dan konsentrasi kecelakaan dalam *ellips* berada di segmen 9 sampai segmen 11. Kombinasi keduanya menghasilkan analisis yang lebih komprehensif dengan *K-means Cluster Analysis* untuk mengidentifikasi kelompok kecelakaan berdasarkan karakteristik tertentu dan *Ellips* Kesalahan untuk memperkirakan area rawan kecelakaan.

Kata Kunci: *k-means cluster analysis*, *ellips* kesalahan, kecelakaan lalu lintas, jalan yos sudarso

ABSTRACT

STUDY OF K-MEANS CLUSTER ANALYSIS METHOD AND ERROR ELLIPSE METHOD TO DETERMINE TRAFFIC ACCIDENT PRONE AREAS

(Case Study: Yos Sudarso Street, Bandar Lampung)

By

IRZA CHAIRUL ANAM

The K-means Cluster Analysis method is used to group accident distribution data into each cluster based on the closest distance between the data and the cluster center. The Error Ellipse method can determine the distribution of traffic accidents based on the area of the formed ellipse. Both methods have their respective efficiencies. This research aims to find out the combination of both methods in determining accident-prone areas on Yos Sudarso Street in Teluk Betung Selatan District and Panjang District using traffic accident data from 2019 to 2023 from the Satlantas Polresta Bandar Lampung. The K-means Cluster Analysis method is carried out by determining 3 initial centroids, then grouping data into 3 clusters based on the distance between the data and the cluster's center point. The Error Ellipse method is performed by calculating the variance-covariance matrix to determine the values of the ellipse components to describe the area of the ellipse. The results of the K-means Cluster Analysis method formed 3 clusters, namely C1, C2, and C3, with C2 categorized as a high-accident risk area. The centroid of C1 is located in segment 4 with 9 accident occurrences, the centroid of C2 is in segment 10 with 32 accident occurrences, and the centroid of C3 is in segment 15 with 14 accident occurrences. The Error Ellipse method analysis created an ellipse with an area of 3.14 km², and the concentration of accidents within the ellipse is found in segments 9 to 11. The combination of both methods results in a more comprehensive analysis, using K-means Cluster Analysis to identify accident groups based on certain characteristics and Error Ellipse to estimate high-risk accident areas.

Keywords: k-means cluster analysis, error ellipse, traffic accident, yos sudarso street

Judul Skripsi

: **KAJIAN METODE K-MEANS CLUSTER
ANALYSIS DAN METODE ELLIPS
KESALAHAN UNTUK MENENTUKAN
DAERAH RAWAN KECELAKAAN LALU
LINTAS (STUDI KASUS: JALAN YOS
SUDARSO BANDAR LAMPUNG)**

Nama Mahasiswa

: **IRZA CHAIRUL ANAM**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2015071008

Program Studi

: S1 Teknik Geodesi dan Geomatika

Fakultas

: Teknik


MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

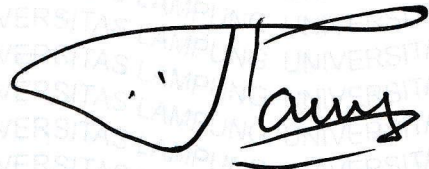
Pembimbing II


Ir. Armijon, S.T., M.T., IPU.
NIP. 197304102008011008


Atika Sari, S.T., M.T.
NIP. 199204062022032007

MENGETAHUI

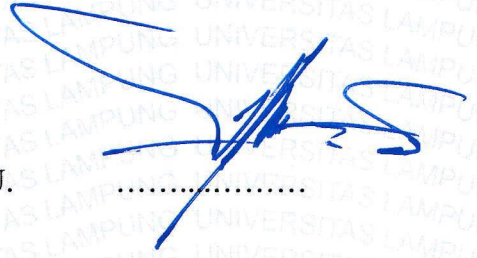
2. Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika


Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM.
NIP. 196410121992031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Ir. Armijon, S.T., M.T., IPU.



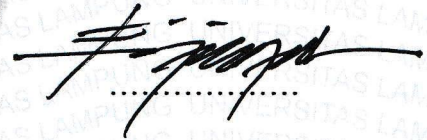
Sekretaris

: Atika Sari, S.T., M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Fajriyanto S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 20 Mei 2025

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irza Chairul Anam
NPM : 2015071008
Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas : Teknik
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sejujurnya, bahwa karya ilmiah penulis sebagai tugas akhir dalam bentuk skripsi yang berjudul:

"KAJIAN METODE K-MEANS CLUSTER ANALYSIS DAN METODE ELLIPS KESALAHAN UNTUK MENENTUKAN DAERAH RAWAN KECELAKAAN LALU LINTAS (STUDI KASUS: JALAN YOS SUDARSO BANDAR LAMPUNG)"

Secara keseluruhan baik data, hasil analisis, maupun penelusuran kajian ilmiahnya adalah benar hasil karya orisinil dan usaha penulis sendiri berdasarkan riset yang telah penulis lakukan dan arahan dari komisi pembimbing dan penguji. Karya ilmiah ini penulis susun mengikuti norma dan etika penulisan yang berlaku. Penulis memastikan bahwa tidak terdapat duplikasi dari karya ilmiah orang lain, kecuali terdapat pendapat yang tertulis jelas sebagai acuan untuk mendukung ulasan dengan menuliskan nama penulis dan dicantumkan di daftar pustaka. Apabila kelak terbukti bahwa pernyataan yang penulis buat ini tidak benar, penulis bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 12 Juni 2025

Yang menyatakan,



Irza Chairul Anam
2015071008

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Irza Chairul Anam, lahir di Lampung Selatan pada tanggal 16 Januari 2002. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Suryanto dan Ibu Wanti. Penulis mengawali jenjang pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Islam Harapan pada tahun 2007-2008.

Penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 1 Haduyang pada tahun 2008-2014. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Natar pada tahun 2014-2017 dan melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Natar pada tahun 2017-2020. Selama masa sekolah, penulis aktif mengikuti kegiatan olimpiade di bidang Astronomi dan beberapa kegiatan seperti kegiatan ekstrakurikuler Palang Merah Remaja (PMR) pada tahun 2017-2020, pendidikan dan latihan PMR Wira Lampung Selatan pada tahun 2018 serta lomba PMR se-Jawa Sumatra pada tahun 2017.

Penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi di Universitas Lampung sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada tahun 2020. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti kegiatan Palang Merah Indonesia (PMI) Kota Bandar Lampung sebagai relawan Covid-19 pada tahun 2020-2021. Penulis juga aktif dalam berbagai lembaga kemahasiswaan, diantaranya pernah menjadi Anggota Muda dan Staff Bidang Kaderisasi Forum Silaturahmi dan Studi Islam (Fossi) Fakultas Teknik Universitas Lampung periode

2020-2021, menjadi Staff Bidang Kaderisasi Bina Rohani Mahasiswa (Birohmah) Universitas Lampung pada tahun 2021, menjadi Staff Ahli Dinas Aksi dan Propaganda Badan Eksekutif Mahasiswa Tingkat Fakultas (BEM-F) Universitas Lampung pada tahun 2021, mejadi Wakil Ketua Himpunan Mahasiswa Geodesi (HIMAGES) Universitas Lampung pada tahun 2022, menjadi Ketua Forum Komuniikasi Ikatan Mahasiswa Geodesi Indonesia (IMGI) Universitas Lampung periode 2022-2023, dan menjadi Mentri Luar Negeri Badan Ekektif Mahasiswa Tingkat Universitas (BEM-U) Universitas Lampung pada tahun 2023. Penulis juga pernah menjadi *awardee* beasiswa Karya Salemba Empat (KSE) dan menjabat sebagai Anggota Bidang *Community Development* Paguyuban KSE Universitas Lampung periode 2022-2023, serta menjabat sebagai Wakil Ketua Umum Paguyuban KSE Universitas Lampung periode 2023-2024.

Penulis juga memiliki pengalaman menjadi Asisten Praktikum pada mata kuliah Survey Terestris. Penulis melaksanakan Kemah Kerja (KK) di Dusun Marga Taqwa, Kelurahan Natar, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung pada bulan Januari tahun 2023 dan menghasilkan Peta Batas Dusun. Kemudian penulis juga pernah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Suka Negeri, Kecamatan Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah pada bulan Juni-Agustus tahun 2023 serta melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT Cahaya Riau Mandiri *Site* DAS, Kabupaten Lahat, Sumatra Selatan pada bulan September-November tahun 2023 dan menghasilkan karya ilmiah dengan judul **“Pengukuran Situasi Area *Front* Tambang Batu Bara PT Cahaya Riau Mandiri *Site* DAS Lahat Sumatra Selatan”**.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahilahi rabbil alamin.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik, meskipun masih terdapat banyak kekurangan di dalamnya.

Terima kasih untuk kedua orang tua penulis tersayang, Ayah Suryanto dan Ibu Wanti, serta adik kembar penulis, Reza Chairul Manam atas segala doa, ridho, dukungan, semangat, serta motivasinya kepada penulis. Penulis persembahkan skripsi ini sebagai bentuk rasa terima kasih atas pengorbanan dan jerih payah Ayah dan Ibu dalam mengiringi perjalanan penulis selama kuliah. Semoga hal ini menjadi langkah awal untuk membuat Ayah, Ibu, dan Dedek bangga kepada penulis.

Terima kasih untuk Bapak dan Ibu Dosen yang sudah memberikan penulis ilmu selama masa perkuliahan, terkhusus Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji yang telah menjadi orang tua kedua bagi penulis selama menyelesaikan skripsi ini. Selama ini Bapak dan Ibu Dosen telah senantiasa membimbing, mengarahkan, membantu, dan memotivasi penulis dengan tulus dan ikhlas sehingga penulis dapat mencapai gelar Sarjana.

Terima kasih untuk sahabat dan teman-teman seperjuangan dari awal hingga akhir perkuliahan atas bantuan, dukungan, dan kebersamaannya selama ini.

MOTTO

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”
(Q.S Al-Insyirah: 5-6)

“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkan ku tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkan ku.”
(Umar bin Khattab)

"Kita adalah apa yang kita pikirkan."
(Marcus Aurelius)

SANWACANA

Puji dan syukur penulis sanjungkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Kajian Metode *K-means Cluster Anaysis* dan Metode *Ellips* Kesalahan untuk Menentukan Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas (Studi Kasus: Jalan Yos Sudarso Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang Kota Bandar Lampung)**". Shalawat dan salam juga penulis curahkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun umatnya ke zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan. Skripsi ini disusun sebagai syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Geodesi, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selesaiannya penyusunan skripsi ini tidak lepas dari berbagai pihak yang telah membantu, memberikan dukungan, serta memberikan motivasi kepada penulis dalam segala keadaan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dan mendapatkan gelar Sarjana. Oleh karena itu, dengan ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung.
3. Bapak Romy Fadly, S.T., M.T. selaku Koordinator Skripsi Program Studi S1 Teknik Geodesi dan Geomatika.
4. Bapak Ir. Armijon, S.T., M.T., IPU., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
5. Ibu Atika Sari, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.

6. Bapak Dr. Fajriyanto, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan masukan kepada penulis untuk menyempurnakan penyusunan skripsi.
7. Ibu Rahma Anisa, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan motivasi kepada penulis selama masa perkuliahan.
8. Ayah, Ibu, dan adik kembar tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat, dan motivasi untuk terus maju serta menyelesaikan perkuliahan.
9. Jean Delliana Putri yang selalu menemani dan meluangkan waktu, tenaga, pikiran maupun materi; memberikan semangat dan motivasi; serta menjadi bagian dari perjalanan penulis dari awal penyusunan laporan kerja praktik, pembuatan proposal skripsi, hingga penyusunan skripsi sampai selesai.
10. Teman-teman Dewan Pimpinan HIMAGES 2022 yang telah memberikan kebersamaan selama masa perkuliahan.
11. Teman-teman angkatan 2020 yang telah berjuang bersama pada setiap kesulitan selama masa perkuliahan.
12. Teman-teman tongkrongan nasi udak Teh Sun yang telah memberikan motivasi dan semangat dalam setiap keadaan selama masa perkuliahan.
13. Senior dan alumni angkatan 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, dan 2016 yang telah memberikan banyak pengalaman dan motivasi selama masa perkuliahan.
14. Teman seperjuangan, Rizky, Dendi, dan Indrawan yang telah memberikan motivasi selama masa perkuliahan.
15. Teman seperjuangan, Yudha Nugraha yang telah kebersamai penulis dalam bidang akademik maupun keorganisasian selama masa perkuliahan.
16. Bapak Sajiran selaku Penjaga Gedung G Teknik Geodesi dan Geomatika yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan.
17. Keluarga besar Survey dan Geodesi Universitas Lampung yang telah berjuang selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis menerima saran dan masukan dari para pembaca untuk membantu menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Bandar Lampung, 12 Juni 2025

Penulis

Irza Chairul Anam

DAFTAR ISI

COVER	i
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang dan Masalah	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Kerangka Pemikiran	3
1.3.1. Batasan Masalah	3
1.3.2. Sistematika Penulisan	4
1.4. Hipotesis Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Cluster Analysis</i>	5
2.1.1. <i>K-means Cluster Analysis</i>	5
2.1.2. <i>Silhouette Coefficient</i>	6
2.2. <i>Ellips</i> Kesalahan	7
2.3. Selang Kepercayaan	11
2.4. <i>Z-Score</i>	11
2.5. Kecelakaan Lalu Lintas	12
2.5. Peneliti Terdahulu	13
III. METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian	17
3.2. Alat dan Bahan	18
3.2.1. Alat-Alat	18
3.2.2. Bahan-Bahan	18
3.3. Metode Penelitian	18
3.3.1. Persiapan	22
3.3.2. Pengolahan	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1. Hasil	48
4.1.1. <i>K-means Cluster Analysis</i>	48
4.1.2. <i>Ellips</i> Kesalahan	51
4.1.3. Hasil Klasifikasi Menggunakan Metode <i>Z-Score</i>	52
4.2. Pembahasan	53

4.2.1. Metode <i>K-means Cluster Analysis</i>	53
4.2.2. Metode <i>Ellips</i> Kesalahan.....	76
4.2.3. Kombinasi Metode <i>K-means Cluster Analysis</i> dan <i>Ellips</i> Kesalahan	79
V. PENUTUP	84
5.1. Simpulan	84
5.2. Saran	85
DAFTAR PUSTAKA.....	86
LAMPIRAN.....	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kuadran	8
2. Peta Lokasi Penelitian	17
3. Pembagian Segmen Jalan	19
4. Sebaran Titik Kecelakaan Lalu Lintas dari Tahun 2019 Sampai Tahun 2023 di Sepanjang Jalan Yos Sudarso	20
5. Diagram Alir.....	21
6. Konversi Data ke <i>Google Earth</i>	23
7. Pengelompokkan Data dalam <i>Google Earth</i>	24
8. Hubungan Titik B ke A	32
9. Hubungan Sebaran Titik Kecelakaan ke Titik Pusat	33
10. <i>Ellips</i> Kesalahan Kejadian Kecelakaan Tahun 2019 Sampai.....	44
11. Selang Kepercayaan ditunjukkan dengan Warna Biru	46
12. Sebaran <i>Cluster K-means Cluster Analysis</i>	49
13. Pusat <i>Ellips</i>	51
14. <i>Cluster 1</i>	54
15. Titik P6.....	55
16. Titik P28.....	55
17. Titik P45	55
18. Titik P55	56
19. Titik P58	56
20. Titik P59	56
21. Titik P61	57
22. Titik P63	57
23. Titik P64	57
24. <i>Cluster 2</i>	58

25. Titik P1	59
26. Titik P2.....	59
27. Titik P3.....	59
28. Titik P4.....	60
29. Titik P5.....	60
30. Titik P8.....	60
31. Titik P10.....	61
32. Titik P12.....	61
33. Titik P13.....	61
34. Titik P14.....	62
35. Titik P15.....	62
36. Titik P16.....	62
37. Titik P17.....	63
38. Titik P22.....	63
39. Titik P23.....	63
40. Titik P24.....	64
41. Titik P25.....	64
42. Titik P26.....	64
43. Titik P33.....	65
44. Titik P38.....	65
45. Titik P40.....	65
46. Titik P41.....	66
47. Titik P42.....	66
48. Titik P43.....	66
49. Titik P44.....	67
50. Titik P48.....	67
51. Titik P49.....	67
52. Titik P50.....	68
53. Titik P53.....	68
54. Titik P54.....	68
55. Titik P57.....	69
56. Titik P60.....	69

57. <i>Cluster 3</i>	70
58. Titik P7	70
59. Titik P9	71
60. Titik P11	71
61. Titik P27	72
62. Titik P29	72
63. Titik P30	72
64. Titik P31	73
65. Titik P32	73
66. Titik P39	73
67. Titik P51	74
68. Titik P52	74
69. Titik P56	74
70. Titik P62	75
71. Titik P65	75
72. <i>Ellips</i> Kesalahan Kecelakaan Lalu Lintas	77
73. Luas Selang Kepercayaan	78
74. Klasifikasi Tingkat Kerawanan Kecelakaan Lalu Lintas	82
75. Input Unsur-Unsur <i>Ellips</i>	89
76. <i>Ellips</i> yang Terbentuk	89
77. Selang Kepercayaan yang Tebentuk	89

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi <i>Silhouette Coefficient</i>	6
2. Faktor Skala Selang Kepercayaan.....	11
3. Klasifikasi <i>Z-Score</i>	12
4. Penelitian Terdahulu.....	13
5. Waktu Penggunaan <i>K-means Cluster Analysis</i> dan <i>Ellips</i> Kesalahan.	22
6. Koordinat Titik Kecelakaan	24
7. <i>Centroid Awal</i>	25
8. Jarak dari Titik Koordinat ke <i>Centroid Awal</i>	25
9. Kelompok dari Masing-Masing Titik Koordinat	26
10. <i>Centroid Baru Iterasi 1</i>	26
11. <i>Centroid Iterasi 2</i>	27
12. <i>Centroid Iterasi 3</i>	27
13. Nilai $a(i)$	27
14. Nilai Rata-Rata Jarak	28
15. Nilai $b(i)$	28
16. Nilai $S(i)$	29
17. Hasil dari <i>Silhouette Coefficient</i>	29
18. Hasil Klasifikasi <i>Silhouette Coefficient</i>	30
19. Jarak dan <i>Azimuth</i> Ukuran	31
20. Jarak Pendekatan dan <i>Azimuth</i> Pendekatan.....	31
21. Selang Kepercayaan	46
22. Jumlah Kejadian Kecelakaan Lalu Lintas	47
23. Nilai <i>Z-Score</i>	47
24. Titik Koordinat <i>Centroid Awal</i> dan <i>Centroid Akhir</i>	50
25. Hasil <i>Silhouette Coefficient</i> Titik Pusat Per-Cluster	50

26. Titik Koordinat <i>Centroid</i> Awal dan <i>Centroid</i> Akhir.....	52
27. Hasil Klasifikasi <i>Z-Score K-means Cluster Analysis</i> dan <i>Ellips</i> Kesalahan..	52
28. Keadaan Korban Kecelakaan	53
29. Komponen <i>Ellips</i> Kesalahan Titik Pusat Tahun.....	76
30. Komponen Selang Kepercayaan	78
31. Klasifikasi dengan <i>Z-Score</i>	79
32. Hasil Analisis Metode <i>K-means Cluster Analysis</i> dan <i>Ellips</i> Kesalahan.....	80
33. Kelebihan dan Kekurangan Metode <i>K-means Cluster Analysis</i>	81
34. Kelebihan dan Kekurangan metode <i>Ellips</i> Kesalahan	81
35. Data Koordinat Kecelakaan	90
36. Kelompok <i>K-means Cluster Analysis</i>	92
37. Hitungan <i>Silhouette Coefficient</i>	94
38. Jarak dan <i>Azimuth</i> Pendakatan	96
39. Jarak dan <i>Azimuth</i> Ukuran	98
Tabel 40. Matriks B.....	100
41. Matriks F	104
42. Matriks P	108
43. Hitungan <i>Z-Score</i>	109

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Metode *K-means Cluster Analysis* adalah sebuah metode dalam statistik untuk mengelompokkan data ke dalam kelompok tertentu dengan membagi data ke dalam beberapa *cluster* berdasarkan kedekatan atau kemiripan antara titik-titik data. Metode *K-means Cluster Analysis* merupakan metode *clustering* yang memiliki kemampuan mengelompokkan data dalam jumlah yang cukup besar dengan waktu komputasi yang cepat (Pradipta dkk., 2018). Metode ini dapat diterapkan pada berbagai jenis data spasial, salah satunya untuk menentukan daerah rawan kecelakaan lalu lintas. Metode *K-means Cluster Analysis* dapat disesuaikan dengan jumlah *cluster* yang diinginkan untuk menentukan banyak area yang akan dianalisis sebagai daerah rawan kecelakaan. Visualisasi yang dihasilkan *K-means Cluster Analysis* memudahkan proses identifikasi pola kecelakaan.

Metode *Ellips Kesalahan* merupakan salah satu parameter untuk menilai kualitas koordinat relatif dari proses penentuan koordinat untuk mengidentifikasi ketidakpastian data spasial dalam menentukan daerah rawan kecelakaan. *Ellips Kesalahan* dapat menunjukkan arah distribusi terjadinya kecelakaan di sekitar titik pusat kecelakaan. *Ellips Kesalahan* menyatakan daerah atau batas daerah dengan probabilitas posisi titik hasil pengukuran benar terjadi di dalam *Ellips Kesalahan* tersebut (Wedagama, 2010). Selain itu, metode *Ellips Kesalahan* sesuai untuk data yang bersifat kontinu dan tidak pasti. Metode ini membantu untuk fokus pada area dengan probabilitas risiko yang tinggi dengan memperhitungkan kesalahan dalam data posisi.

Pradipta dkk. (2018) dalam penelitiannya menuliskan bahwa metode *K-means Cluster Analysis* dapat memetakan daerah rawan kecelakaan dan memiliki tingkat akurasi yang baik. Wedagama (2010) dalam penelitiannya menuliskan bahwa metode *Ellips* Kesalahan dapat menunjukkan luas *ellips* untuk melihat distribusi kecelakaan lalu lintas. Kedua metode tersebut memiliki tingkat efisien masing-masing. Metode *K-means Cluster Analysis* dapat menentukan data yang berada di dalam *cluster* tertentu dan memudahkan analisis daerah rawan kecelakaan lalu lintas, sedangkan metode *Ellips* Kesalahan dapat menentukan konsentrasi kecelakaan lalu lintas.

Angka kecelakaan lalu lintas meningkat setiap tahun, mulai dari kecelakaan ringan hingga berat. Kecelakaan lalu lintas menjadi penyebab kematian yang cukup banyak di Indonesia, terutama di Kota Bandar Lampung. Kecelakaan lalu lintas melibatkan kendaraan seperti sepeda motor, mobil, hingga truk. Selain faktor manusia yang tidak taat peraturan lalu lintas, kecelakaan juga disebabkan oleh geometrik jalan, kepadatan lalu lintas, dan kurangnya rambu peringatan daerah rawan kecelakaan (Hatrik dan Vatesia, 2022).

Jalan Yos Sudarso dipilih sebagai lokasi penelitian untuk menentukan daerah rawan kecelakaan lalu lintas karena terletak di kawasan industri yang sangat padat dengan lalu lintas harian didominasi oleh truk besar dan sepeda motor. Tingginya kepadatan lalu lintas dan heterogenitas jenis kendaraan secara signifikan meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan. Menurut Noviyanti (2012), Jalan Yos Sudarso adalah jalan dengan resiko kecelakaan tertinggi di Kota Bandar Lampung karena sering dilalui kendaraan berat, mengingat lokasi sepanjang jalan banyak kantor dan gudang.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk menentukan kombinasi kedua metode untuk menentukan daerah rawan kecelakaan lalu lintas. Pada penelitian ini dilakukan kajian terhadap metode *K-means Cluster Analysis* dan metode *Ellips* Kesalahan dengan studi kasus daerah rawan kecelakaan lalu lintas di Jalan Yos Sudarso Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Melakukan analisis metode *K-means Cluster Analysis* untuk menentukan sebaran daerah rawan kecelakaan lalu lintas di Jalan Yos Sudarso Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung.
2. Melakukan analisis metode *Ellips Kesalahan* untuk menentukan sebaran daerah rawan kecelakaan lalu lintas di Jalan Yos Sudarso Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung.
3. Mengetahui kombinasi dari metode *K-means Cluster Analysis* dan metode *Ellips Kesalahan* untuk menghasilkan sebaran daerah rawan kecelakaan lalu lintas di Jalan Yos Sudarso Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung.

1.3. Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini terdiri dari dua bagian, yaitu **batasan masalah** dan **sistematika penulisan**.

1.3.1. Batasan Masalah

Penelitian ini diberi beberapa ruang lingkup yang meliputi hal-hal berikut:

1. Lokasi penelitian berada di Jalan Yos Sudarso Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung.
2. Data kecelakaan yang digunakan adalah data kecelakaan lalu lintas tahun 2019-2023 dari Satuan Lalu Lintas Polresta Bandar Lampung.
3. Metode *K-means Cluster Analysis* dan metode *Ellips Kesalahan* digunakan dalam menganalisis kecelakaan lalu lintas di Jalan Yos Sudarso Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung.
4. Uji hasil metode *K-means Cluster Analysis* menggunakan metode *Silhouette Coefficient*.
5. Klasifikasi hasil metode *K-means Cluster Analysis* menggunakan metode *Z-Score*.

6. Perhitungan menggunakan *software Microsoft Excel* dan penggambaran menggunakan *software* pemetaan.

1.3.2. Sistematika Penulisan

Penelitian ini menggunakan sistematika penulisan yang mengacu pada Panduan Karya Tulis Ilmiah Universitas Lampung 2020. Menurut panduan tersebut, karya tulis ilmiah berisi bab-bab yang berbeda tetapi antara bab satu dengan yang lainnya saling terikat. Penelitian ini terbagi menjadi lima bab dengan pembahasan pada masing-masing bab saling terikat satu sama lain.

Bab satu berisi pembahasan tentang latar belakang dan masalah, tujuan penelitian, kerangka pemikiran, dan hipotesis. Bab dua berisi penjelasan tentang tinjauan pustaka dan penelitian-penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini. Bab tiga menjelaskan mengenai metodologi penelitian ataupun tahap pelaksanaan dalam penelitian ini. Bab empat berisi hasil dan pembahasan akhir dari penelitian yang telah dilakukan. Bab lima merupakan bab terakhir yang membahas mengenai kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

1.4. Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini yaitu kombinasi metode *K-means Cluster Analysis* dan *Ellips* Kesalahan dapat memberikan hasil yang akurat dalam penentuan sebaran daerah rawan kecelakaan lalu lintas di dibandingkan jika kedua metode digunakan secara terpisah. Hipotesis ini akan diuji melalui analisis data kecelakaan lalu lintas yang ada di Jalan Yos Sudarso Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Cluster Analysis*

Cluster Analysis merupakan metode pengelompokkan data menjadi beberapa *cluster* atau kelompok, sehingga data berada dalam suatu *cluster* yang memiliki kesamaan maksimum terhadap *cluster* lain yang memiliki kesamaan minimum.

2.1.1. *K-means Cluster Analysis*

Metode *K-means Cluster Analysis* adalah algoritma dari *Cluster Analysis* untuk mengelompokkan data dalam jumlah besar (Latifah dkk., 2022). Setiap data berada dalam suatu kelompok dengan karakteristik sama ataupun berbeda dengan data di kelompok lain (Agnes Vernanda dkk., 2021). Penerapan metode *K-means Cluster Analysis* digunakan untuk mengelompokkan data sebaran kecelakaan ke masing-masing *cluster* dengan melihat jarak terdekat antara data kecelakaan dengan pusat *cluster* (Wierzchoń and Kłopotek, 2015). Metode ini dapat mengklasifikasikan tingkat kerawanan kecelakaan berdasarkan *cluster* yang terbentuk. Proses pengolahan *K-means Cluster Analysis* dilakukan dengan meminimalkan jarak data dengan masing-masing pusat *cluster* untuk membagi M data poin dalam N dimensi ke dalam K *cluster* (Pradipta dkk., 2018). Perhitungan jarak titik dengan pusat *cluster* dapat menggunakan rumus *Euclidean Distance Space* (Agusta, 2007), yaitu:

$$D_{L2}(x_2, x_1) = |x_2 - x_1|_2 = \sqrt{\sum_{j=1}^p (x_{2j} - x_{1j})^2} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- x_1 = Objek Data
- x_2 = *Centroid*
- P = Dimensi Data
- D = Jarak

2.1.2. *Silhouette Coefficient*

Silhouette Coefficient merupakan metode untuk mendapatkan kualitas dan kekuatan dari suatu data atau kualitas suatu objek jika ditempatkan dalam suatu *cluster*. Jika nilai rata-rata *Silhouette Coefficient* mendekati nilai 1, maka semakin baik pengelompokkan data dalam satu *cluster*. Sebaliknya, jika nilai rata-rata *Silhouette Coefficient* mendekati -1, maka semakin buruk pengelompokkan data dalam satu *cluster* (Surbakti dkk., 2021).

Tabel 1. Klasifikasi *Silhouette Coefficient*

<i>Silhouette Coefficient</i>	Keadaan Data
$0,71 \leq 1,00$	<i>Stronge Structure</i>
$0,51 \leq 0,70$	<i>Medium Structure</i>
$0,25 \leq 0,50$	<i>Weak Structure</i>
$\leq 0,25$	<i>No Structure</i>

Sumber: (Surbakti dkk., 2021)

Tahapan perhitungan *Silhouette Coefficient* menurut Shoolihah dkk., (2017) adalah sebagai berikut.

1. Hitung rata-rata jarak dari suatu data, misalkan I dengan semua data lain yang berada dalam satu *cluster* (*ai*).

$$a(i) = \frac{1}{|A|-1} \sum_{j \in A, j \neq i} d(i, j) \dots\dots\dots (2)$$

Dengan *j* adalah data lain dalam satu *cluster* A dan *d(i, j)* adalah jarak antara data *i* dan *j*.

2. Hitung rata rata jarak dari data *i* tersebut dengan semua data *cluster* lain dan diambil nilai terkecilnya.

$$d(i, C) = \frac{1}{|A|} \sum_{j \in C} d(i, j) \dots\dots\dots (3)$$

Dengan *d(i, C)* adalah jarak rata rata data I dengan semua objek pada *cluster* lain C dimana $A \neq C$, $b(i) = \min_{C \neq A} d(i, C)$.

3. Rumus *Silhouette Coefficient* adalah:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(a(i), b(i))} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan *s(i)* adalah semua rata rata pada semua kumpulan data.

2.2. *Ellips* Kesalahan

Ellips Kesalahan merupakan metode hitung perataan pengukuran topografi untuk menentukan titik koordinat di permukaan bumi. Menurut Wedagama (2010), *Ellips* Kesalahan menyatakan daerah atau batas daerah dengan probabilitas posisi titik hasil pengukuran benar terjadi di dalam *ellips*. *Ellips* Kesalahan dibangun dari unsur-unsur berikut, diantaranya:

$\sigma_{x'}$ = Sumbu Semimajor *Ellips*

$\sigma_{y'}$ = Sumbu Semiminor *Ellips*

θ = Sudut Rotasi *Ellips*

Penggunaan unsur-unsur *ellips* tersebut dapat diterapkan pada studi kasus daerah rawan kecelakaan yaitu dengan melihat pusat distribusi *ellips* dan luas *ellips* untuk mengetahui sebaran atau konsentrasi dari kecelakaan lalu lintas. Hasil pengolahan luas *ellips* digunakan sebagai indikator sebaran atau konsentrasi terjadinya kecelakaan lalu lintas.

Ellips Kesalahan yang berbentuk lingkaran atau nyaris berbentuk lingkaran ($a \approx b$) menunjukkan bahwa tidak ada korelasi antara titik X dan Y. Kemiringan *ellips* terhadap sumbu probabilitistik X menunjukkan korelasi antara variabel X dan Y. Jika *Ellips* Kesalahan miring ke kiri, maka dapat dikatakan bahwa X dan Y berkorelasi positif. Sebaliknya, jika *Ellips* Kesalahan miring ke kanan maka dapat dikatakan bahwa X dan Y berkorelasi negatif.

Untuk mendapatkan nilai dari masing-masing unsur *Ellips* Kesalahan, maka dilakukan perhitungan terlebih dahulu pada setiap komponen *ellips* menggunakan rumus menurut Wedagama (2010) sebagai berikut.

$$\sigma_{x'}^2 = \frac{1}{2} [(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) + \sqrt{4(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + \sigma_{xy}^2}]^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

$$\sigma_{y'}^2 = \frac{1}{2} [(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) - \sqrt{4(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + \sigma_{xy}^2}]^{1/2} \dots\dots\dots (6)$$

$$\tan 2\theta = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

$\sigma_{x'}$ = Sumbu Semimajor *Ellips*

$\sigma_{y'}$ = Sumbu Semiminor *Ellips*

θ = Sudut Rotasi *Ellips*

σ_x = Standar Deviasi Absis (X)

σ_y = Standar Deviasi Ordinat (Y)

σ_{xy} = Korelasi Absis dan Ordinat (XY)



Gambar 1. Kuadran

Perhitungan nilai dari sudut rotasi dilakukan dengan menggunakan kuadran. Kuadran 1 menunjukkan bahwa jika nilai x dan y keduanya positif, maka nilai tersebut ditambah dengan 180° . Kuadran 2 menunjukkan bahwa jika nilai x bernilai negatif dan y bernilai positif, maka nilai tersebut ditambah 360° . Kuadran 3 menunjukkan bahwa jika nilai x dan y bernilai negatif, maka nilai tersebut ditambah 180° . Kuadran 4 menunjukkan bahwa jika nilai x bernilai positif dan y bernilai negatif, maka nilai tersebut ditambah 180° .

Perhitungan nilai unsur-unsur *ellips* memerlukan variansi kovariansi dari matriks variansi kovariansi yang didapatkan melalui hitung kuadrat terkecil, dengan menggunakan metode perataan parameter (Auliya dkk., 2023). Perataan metode parameter merupakan metode perataan kuadrat terkecil dengan model matematik yang disusun berdasarkan parameter (Armijon, 2020). Jika parameter yang ditentukan adalah \hat{L} , maka:

$$\hat{L} = L^u + V \dots\dots\dots(8)$$

\hat{L} adalah ukuran yang sebenarnya, sehingga untuk menentukan ukuran sebenarnya diperlukan L (L^u) ukuran yang ditambah dengan koreksi (V). Untuk mendapatkan nilai V dapat menggunakan persamaan berikut.

$$V = BX + B_o - L^u \dots\dots\dots(9)$$

Karena $F = B_o - L^u$ maka persamaan 9 dapat disederhanakan menjadi:

$$V = BX + F \dots\dots\dots(10)$$

Persamaan 10 merupakan persamaan dasar dari perataan parameter.

1. Matriks V merupakan matriks koreksi berdimensi ($n \times 1$).
2. Matriks B merupakan matriks koefisien berdimensi ($n \times u$) dengan unsur $b_{j1} = \frac{\partial l_j}{\partial x_k}$.
3. Matriks F merupakan matriks kesalahan penutup berdimensi ($n \times 1$), sehingga $F = B_o - L$
4. Matriks X merupakan parameter berdimensi ($n \times 1$).

Selanjutnya, penentuan matriks X dapat dilakukan menggunakan prinsip kuadrat terkecil yaitu $V^T P V$ minimum, dengan P adalah matriks bobot dari pengukuran.

$$V^T P V \equiv \Phi \Rightarrow \text{Minimum}$$

Untuk mencapai minimum, maka turunannya terhadap V harus sama dengan 0, sehingga:

$$V^T P V = \text{Minimum} = \Phi = V : BX + F$$

Maka:

$$V^T P V = (BX + F)^T P (BX + F) \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{dengan } \frac{\partial \Phi}{\partial X} = 0^T, \text{ maka } V^T P V = 2X^T B^T P B + 2F^T P B = 0^T$$

Jika matriks di atas ditransposkan untuk penyederhanaan, maka dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V^T P V &= 2X^T B^T P B + 2F^T P B = (0^T)^T \\ 2B^T P B X + 2B^T P F &= 0 \\ B^T P B X + B^T P F &= 0 \dots\dots\dots(12) \end{aligned}$$

Persamaan 12 merupakan persamaan normal pada Teknik Perataan Parameter. Selanjutnya didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$X = -(B^T P B)^{-1} + B^T P F \dots\dots\dots(13)$$

Jika sudah mendapat parameter X, maka harus menentukan nilai ketelitian pengamatan. $V^T P V$ ditentukan dengan memasukan persamaan X ke dalam persamaan 14.

$$V^T P V = (F^T P B) X + F^T P F \dots\dots\dots (14)$$

Sehingga variansi baku (variansi) adalah sebagai berikut.

$$\sigma_O^2 = \frac{V^T P V}{R} \dots\dots\dots (15)$$

Kemudian koreksi V dapat ditentukan dengan memasukkan persamaan X ke dalam persamaan V. Selanjutnya jika matriks V sudah diketahui, maka dapat dihitung nilai L sebenarnya menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$(\bar{L}) = L + V \dots\dots\dots (16)$$

Matriks variansi kovariansi parameter Σ_{XX} ditentukan dari nilai variansi baku yang dikalikan dengan nilai dari matriks Q_{XX} (Fan, 2010).

$$\Sigma_{XX} = \sigma_O^2 \cdot Q_{XX} \dots\dots\dots (17)$$

Jika variansi baku sudah diketahui, maka selanjutnya ditentukan Q_{XX} (kofaktor XX) dari penyelesaian persamaan normal.

$$Q_{XX} = (B^T P B)^{-1} \dots\dots\dots (18)$$

Setelah variansi baku dan kofaktor XX diketahui, selanjutnya dihitung nilai Σ_{XX} .

$$\Sigma_{XX} = \sigma_O^2 \cdot Q_{XX} \dots\dots\dots (19)$$

$$\Sigma_{XX} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix}$$

Keterangan:

σ_x^2 = Variansi Kesalahan di Titik (x)

σ_y^2 = Variansi Kesalahan di Titik (y)

σ_{xy} = Variansi Kovariansi

σ_{xy} = Variansi Kovariansi

σ_{xy} = $\sqrt{(\sigma_x^2)}$ = Ketelitian Titik (x)

σ_{xy} = $\sqrt{(\sigma_y^2)}$ = Ketelitian Titik (y)

Setelah mendapatkan matriks variansi kovariansi maka dapat dilakukan perhitungan *Ellips* Kesalahan.

2.3. Selang Kepercayaan

Selang kepercayaan (*Confidence Interval*) adalah ukuran yang menunjukkan nilai parameter yang asli mungkin berada. Nilai parameter dalam selang kepercayaan tidak bisa ditentukan kepastiannya 100%. Selang kepercayaan x% berarti ada keyakinan sebesar x% bahwa nilai parameter asli berada dalam rentang yang dihasilkan dari sampel. Penggambaran *Ellips* Kesalahan pada selang kepercayaan tertentu dilakukan menggunakan besaran faktor skala (penggali) c yang dikalikan dengan nilai sumbu panjang dan nilai sumbu pendek. Hasilnya digunakan untuk menggambar *ellips* pada tingkat selang kepercayaan tertentu, sedangkan orientasi sumbu *ellips* (θ) nilainya tetap (tidak perlu ada perubahan) (Auliya dkk., 2023).

Tabel 2. Faktor Skala Selang Kepercayaan

Faktor Skala (Penggali) c	Selang Kepercayaan P ($U \leq c$)	Selang Kepercayaan P [$U \leq c$] (%)
1,000	0,394	39,4%
1,77	0,500	50,0%
1,414	0,632	63,2%
2,000	0,865	86,5%
2,146	0,900	90,0%
2,447	0,950	95,0%
3,000	0,989	98,9%
3,035	0,990	99,0%
3,500	0,998	99,8%

Sumber: (Auliya dkk., 2023)

2.4. Z-Score

Metode analisis *Z-Score* merupakan teknik statistik untuk melakukan standarisasi data dan mengukur jarak suatu nilai individu yang berada jauh dari rata-rata populasi dalam satuan deviasi standar. Metode ini menunjukkan letak relatif suatu nilai terhadap distribusi data dengan menghitung selisih antara nilai tersebut dan rata-rata populasi, kemudian membaginya dengan standar deviasi populasi. Perhitungan *Z-Score* dapat menggunakan rumus Aulia (2022) sebagai berikut.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \dots\dots\dots (20)$$

Keterangan:

X = Nilai Individu yang dianalisis,

μ (mu) = Rata-Rata Populasi,

σ (sigma) = Standar Deviasi Populasi.

Adapun klasifikasi dalam penentuan daerah rawan kecelakaan ditunjukkan pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Klasifikasi *Z-Score*

No	<i>Z-Score</i>	Kategori
1	Nilai + (>0)	Rawan Kecelakaan
2	Nilai - (>0)	Tidak Rawan Kecelakaan

Sumber: (Aulia, 2022)

2.5. Kecelakaan Lalu Lintas

Kecelakaan lalu lintas kendaraan diartikan sebagai suatu kejadian yang tidak diharapkan atau tidak disengaja yang terjadi minimal satu kendaraan dan dapat mengakibatkan kerugian secara material hingga kematian. Peristiwa ini terbatas, melibatkan banyak faktor, dan bersifat acak, diawali dengan kondisi satu manusia atau lebih mengalami kesalahan berkendara sehingga mengakibatkan kerugian.

Faktor-faktor pemicu terjadinya kecelakaan lalu lintas menurut Surbakti dkk., (2021) adalah sebagai berikut.

1. Faktor Manusia

Faktor manusia merupakan faktor yang paling menonjol pada kecelakaan lalu lintas. Pejalan kaki dan pengemudi kendaraan adalah pemicu kecelakaan, dimana pelanggaran rambu lalu lintas menjadi penyebab awal terjadinya kecelakaan lalu lintas.

2. Faktor Kendaraan

Kendaraan merupakan produksi pabrik yang dibuat dengan faktor keamanan dan terjamin bagi keselamatan pengendara. Kendaraan harus layak dipakai dan dicek secara berkala agar keseluruhan bagian kendaraan bekerja dengan baik. Jika suatu kendaraan tidak dicek dengan baik sebelum digunakan maka akan menjadi pemicu kecelakaan lalu lintas.

3. Faktor Kondisi Jalan dan Alam

Keadaan jalan yang tidak baik atau rusak dapat menimbulkan kecelakaan lalu lintas karena dapat mengganggu kelancaran dalam berkendara. Faktor alam seperti iklim dan cuaca yang buruk dapat menjadi penyebab timbulnya kecelakaan lalu lintas karena cuaca buruk dapat mengganggu fokus pengemudi dalam berkendara.

2.5. Peneliti Terdahulu

Penelitian ini dilakukan dengan merujuk pada kajian pustaka yang diambil dari jurnal penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, diantaranya sebagai berikut.

Tabel 4. Penelitian Terdahulu

Peneliti	Judul	Hasil
Argnes	Pemetaan	Penggunaan metode <i>clustering</i> dalam
Dionanda Resza	Daerah Rawan	pemetaan daerah rawan kecelakaan di
Pradipta,	Kecelakaan di	Kecamatan Banyumanik dan Tembalang
Moehammad	Kota Semarang	dilakukan dengan mengombinasikan
Awaluddin,	dengan	algoritma <i>Fuzzy C means</i> dan <i>K-means</i> .
Arief Laila	Menggunakan	Pemetaan 96 segmen jalan menghasilkan
Nugraha (2018)	Metode <i>Cluster Analysis</i> (Studi Kasus: Kecamatan Banyumanik dan Tembalang).	10 segmen dengan kategori rawan, 18 segmen dengan kategori cukup rawan, dan 39 titik pusat rawan kecelakaan. Hasil validasi <i>Fuzzy C-means Clustering</i> menunjukkan bahwa tingkat kesesuaian hasil yaitu sebesar 69,697%. Hasil validasi <i>K-means Clustering</i> menunjukkan rata-rata jarak titik kejadian kecelakaan dengan titik pusat <i>cluster</i> sebesar 51,539 meter. Hasil kombinasi kedua metode dalam memetakan daerah rawan kecelakaan memiliki tingkat akurasi yang baik.

Lanjutan Tabel 4

Peneliti	Judul	Hasil
Al-mar'atush Shoolihah, M. Tanzil Furqon, Agus Wahyu Widodo (2017)	Implementasi Metode <i>Improved K-Means</i> untuk Mengelompokkan Titik Panas Bumi.	Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian dan pengujian menunjukkan bahwa metode <i>Improved K-means</i> berhasil diimplementasikan pada sistem untuk mengelompokkan data titik panas bumi. Metode <i>Improved K-means</i> yang diterapkan pada sistem dilakukan dengan 2 tahapan, yaitu memilih titik pusat awal dan mengelompokkan data menggunakan metode <i>K-means Clustering</i> .
Mia Auliya, Armijon, Fauzan Murdapa (2023)	Kajian Wilayah Potensi Penyebaran Covid-19 Menggunakan Pendekatan Analitik dengan <i>Ellips</i> Kesalahan.	Berdasarkan hasil penelitian didapatkan 8 titik persebaran yang berada di Kelurahan Sukarame, dan 4 titik persebaran yang berada di Kelurahan Way Dadi. Daerah yang berpotensi tinggi terhadap penyebaran Covid-19 berada di kelurahan Sukarame, berpotensi rawan terhadap penyebaran Covid-19 berada di Kelurahan Way Dadi, dan berpotensi aman dari penyebaran Covid-19 berada di Kelurahan Sukarame Baru, Kelurahan Way Dadi Baru, Kelurahan Korpri Raya, dan Kelurahan Korpri Jaya
D.M Priyantha Wedagama (2010)	Metode <i>Ellips</i> Kesalahan Sebagai Metode Alternatif untuk Analisis Lokasi	Hasil analisis menunjukkan bahwa kecelakaan lalu lintas cenderung terkonsentrasi baik untuk kurun waktu 24 jam maupun perjamnya. Pada hari kerja jam 8-9 dan jam 15-16 menunjukkan

Lanjutan Tabel 4

Peneliti	Judul	Hasil
	Rawan Kecelakaan Lalu Lintas.	bahwa kecelakaan lalu lintas yang melibatkan pejalan kaki cenderung bersifat acak. Hasil analisis <i>centroid</i> kecelakaan dan besar distribusinya (ditunjukkan oleh luas <i>ellips</i>) terlihat bahwa lokasi rawan kecelakaan berada di sekitar pusat Kota Newcastle.
M. Donie Aulia, Okky Ali Saputra (2022)	Analisis Daerah Rawan Kecelakaan di Jalan Kolektor Primer Kabupaten Sukabumi.	Hasil analisis menunjukkan Jalan Cikidang memiliki kriteria rawan kecelakaan sangat tinggi dengan nilai <i>Z-Score</i> sebesar 1. Ruas jalan yang menjadi titik rawan kecelakaan pada jalan raya Cikidang merupakan “ <i>Letter S</i> ”, dengan jumlah kejadian kecelakaan sebanyak 14 kejadian. Adapun Jalan Surya Kencana memiliki kriteria tidak rawan kecelakaan dengan nilai <i>Z-Score</i> sebesar -1.

Penelitian dengan menggunakan metode *K-means Cluster Analysis* merujuk pada penelitian Pradipta dkk. (2018) yang memetakan daerah rawan kecelakaan lalu lintas di Kota Semarang dengan metode *Fuzzy C-means* dan *K-means Cluster Analysis*. Penelitian ini juga menggunakan metode *K-means Cluster Analysis*, namun dikombinasikan dengan metode *Ellips* Kesalahan untuk menentukan daerah rawan kecelakaan di Jalan Yos Sudarso, Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung. Penggunaan metode *Silhouette Coefficient* merujuk pada penelitian Shoolihah dkk. (2017) untuk melakukan validasi metode *K-means Cluster Analysis* pada studi kasus sebaran titik panas bumi. Sedangkan pada penelitian ini, metode *Silhouette Coefficient* digunakan untuk melakukan validasi metode *K-means Cluster Analysis* dengan studi kasus daerah rawan kecelakaan lalu lintas.

Penelitian menggunakan metode *Ellips* Kesalahan merujuk pada penelitian Auliya dkk. (2023) untuk mengkaji wilayah potensi penyebaran Covid-19. Sedangkan pada penelitian ini, metode *Ellips* Kesalahan digunakan untuk melakukan hitung perataan kuadrat terkecil metode parameter untuk membentuk matriks variansi kovariansi dan menghasilkan unsur dari sebuah *ellips* untuk menentukan daerah rawan kecelakaan lalu lintas. Metode *Ellips* Kesalahan juga digunakan untuk menentukan luas *ellips* dengan cara mencari nilai unsur-unsur *ellips* untuk melihat konsentrasi kecelakaan lalu lintas (Wedagama, 2010).

Penggunaan metode *Z-Score* dalam penelitian ini merujuk pada peneltian Aulia dan Saputra (2022) untuk mengklasifikasikan daerah rawan kecelakaan lalu lintas. Penelitian ini menggunakan metode *Z-Score* yang dihasilkan dari pengolahan metode *K-means Cluster Analysis* dan metode *Ellips* Kesalahan untuk mengklasifikasikan daerah rawan kecelakaan lalu lintas.

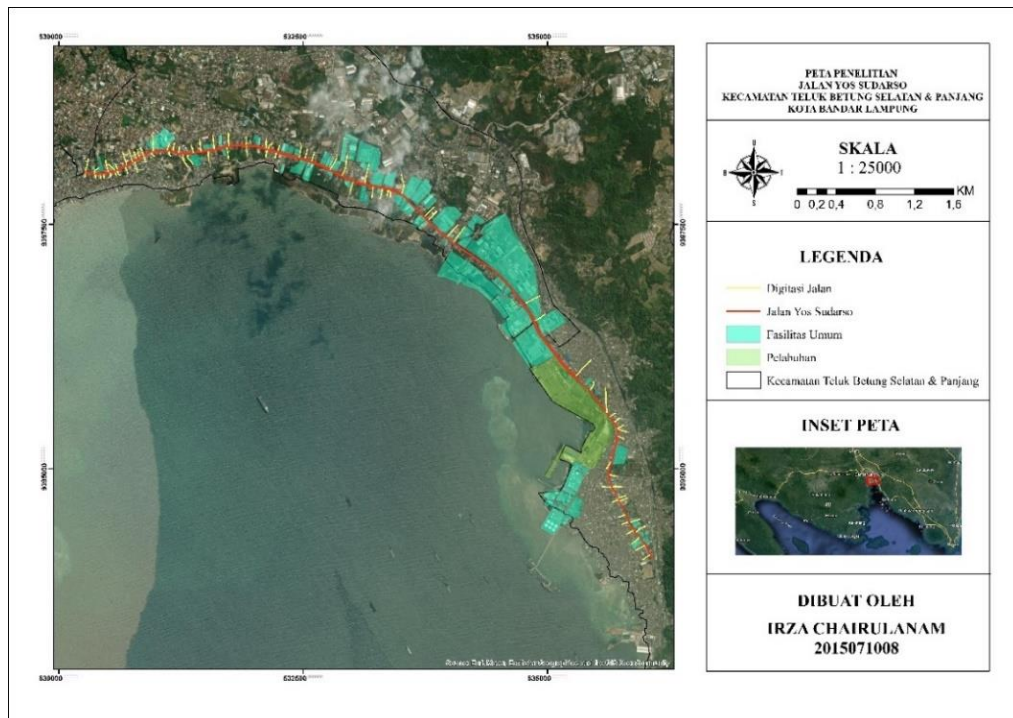
Penelitian ini menggunakan metode *K-means Cluster Analysis* dan metode *Ellips* Kesalahan untuk mengetahui kombinasi kedua metode dalam menentukan daerah rawan kecelakaan lalu lintas. Penelitian ini juga menggunakan metode *Z-Score* untuk mengklasifikasikan daerah rawan kecelakaan lalu lintas di Jalan Yos Sudarso, Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan September hingga Desember 2024 meliputi beberapa tahapan diantaranya studi pustaka, pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis data. Penelitian ini dilakukan di Jalan Yos Sudarso di Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung.

Jalan Sudarso merupakan jalan arteri utama dengan lalu lintas kendaraan yang padat dan didominasi berbagai jenis kendaraan, seperti truk besar, mobil pribadi, angkutan umum, dan sepeda motor yang berkontribusi terhadap volume lalu lintas. Lokasi jalan berada di kawasan pelabuhan dan industri sehingga menyebabkan kepadatan truk besar.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

3.2.1. Alat-Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu perangkat keras dan perangkat lunak sebagai berikut.

- a. Laptop dengan spesifikasi: sistem operasi RAM: 8 GB, *System Type*: 64-bit *Operating System*.
- b. *Software*: *Microsoft Excel* 2010, *Software* pengolahan pemetaan, *Microsoft Office* 2010.

3.2.2. Bahan-Bahan

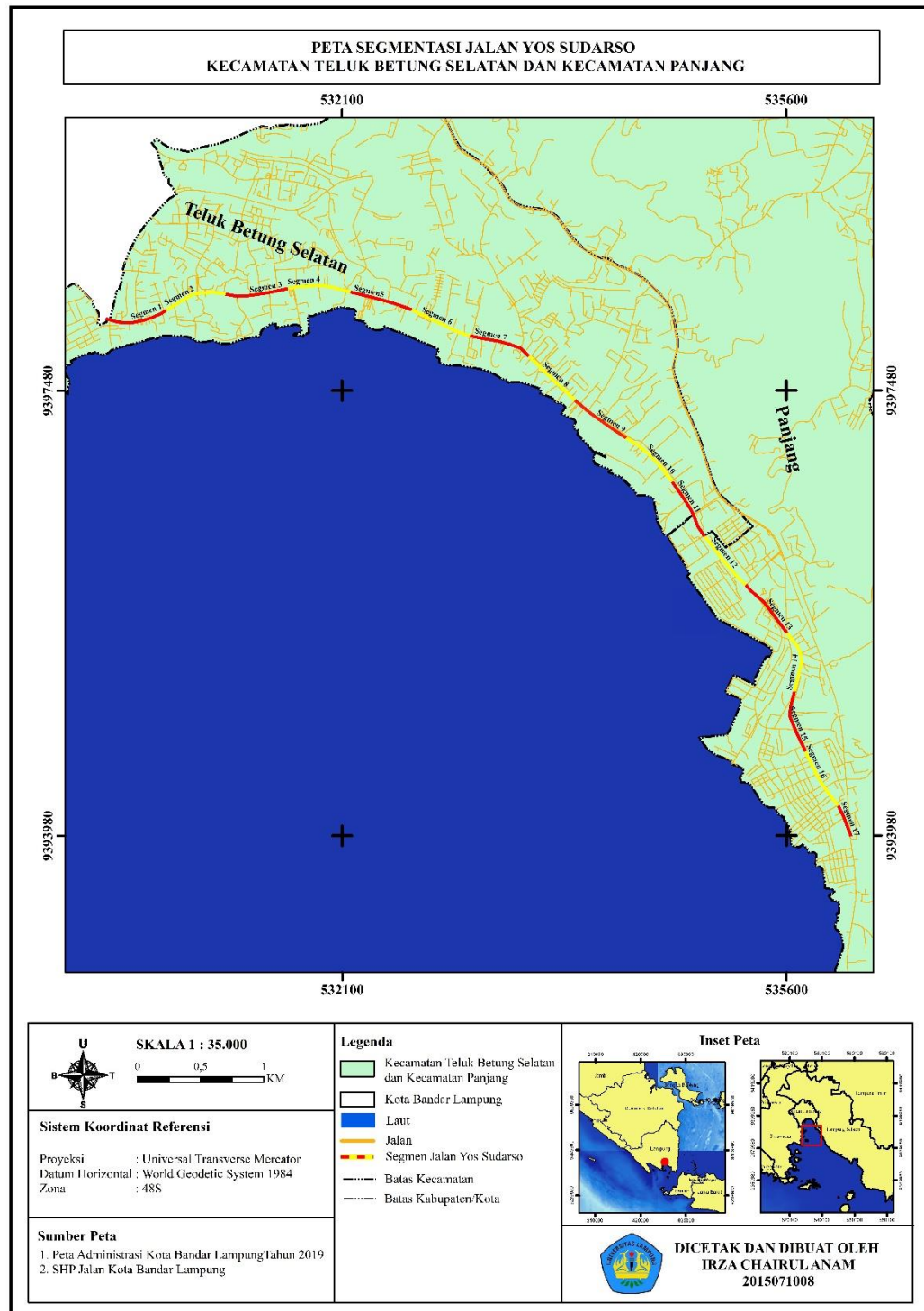
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Peta administrasi Kota Bandar Lampung dengan format data vektor.
- b. Peta jaringan jalan Kota Bandar Lampung berbentuk data vektor dari hasil digitasi.
- c. Data koordinat kecelakaan lalu lintas yang didapatkan dari Satlantas Polresta Kota Bandar Lampung. Data koordinat kecelakaan lalu lintas yang digunakan dalam penelitian ini dari tahun 2019 sampai tahun 2023.

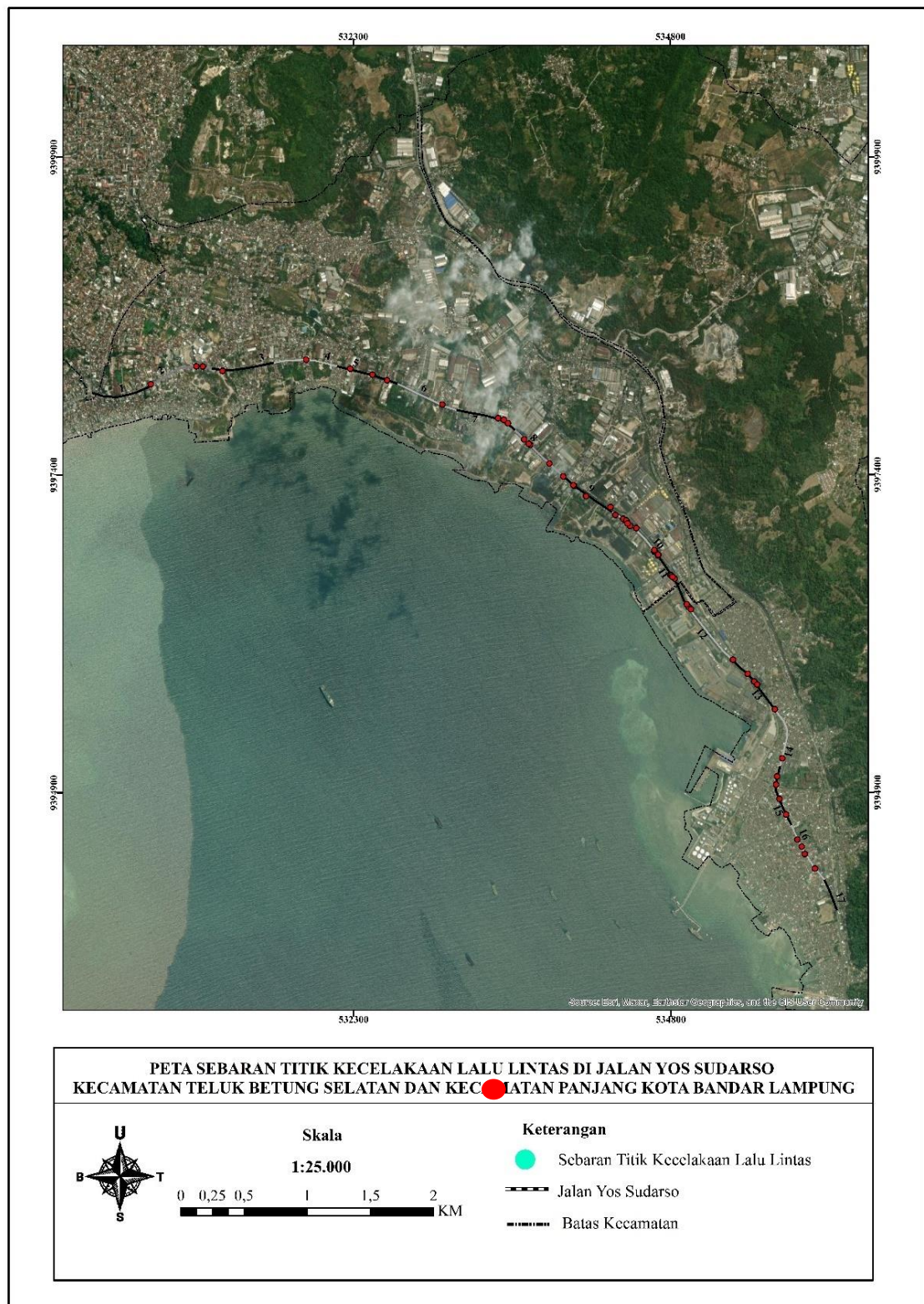
3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *K-means Cluster Analysis* dan *Ellips* Kesalahan untuk menganalisis dan mengetahui kombinasi kedua metode dalam menentukan daerah rawan kecelakaan di Jalan Yos Sudarso di Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung. Metode *K-means Cluster Analysis* digunakan untuk mengelompokkan data kecelakaan berdasarkan lokasi geografisnya, sehingga dapat diketahui daerah dengan konsentrasi kecelakaan yang tinggi. *Ellips* Kesalahan digunakan untuk menentukan luas *ellips* yang terbentuk untuk melihat konsentrasi kecelakaan lalu lintas. Jalan Yos Sudarso dibagi menjadi beberapa segmen untuk mempermudah identifikasi titik-titik rawan kecelakaan berdasarkan panjang jalan. Segmen dibagi dengan jarak 500 meter dan menghasilkan 17 segmen jalan, kemudian dianalisis untuk mendapatkan gambaran

yang lebih rinci mengenai pola sebaran kecelakaan di sepanjang jalan tersebut. Segmentasi ini bertujuan untuk memperoleh hasil analisis yang terfokus dan akurat. Gambar 2 menunjukkan pembagian segmen Jalan Yos Sudarso di Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung.

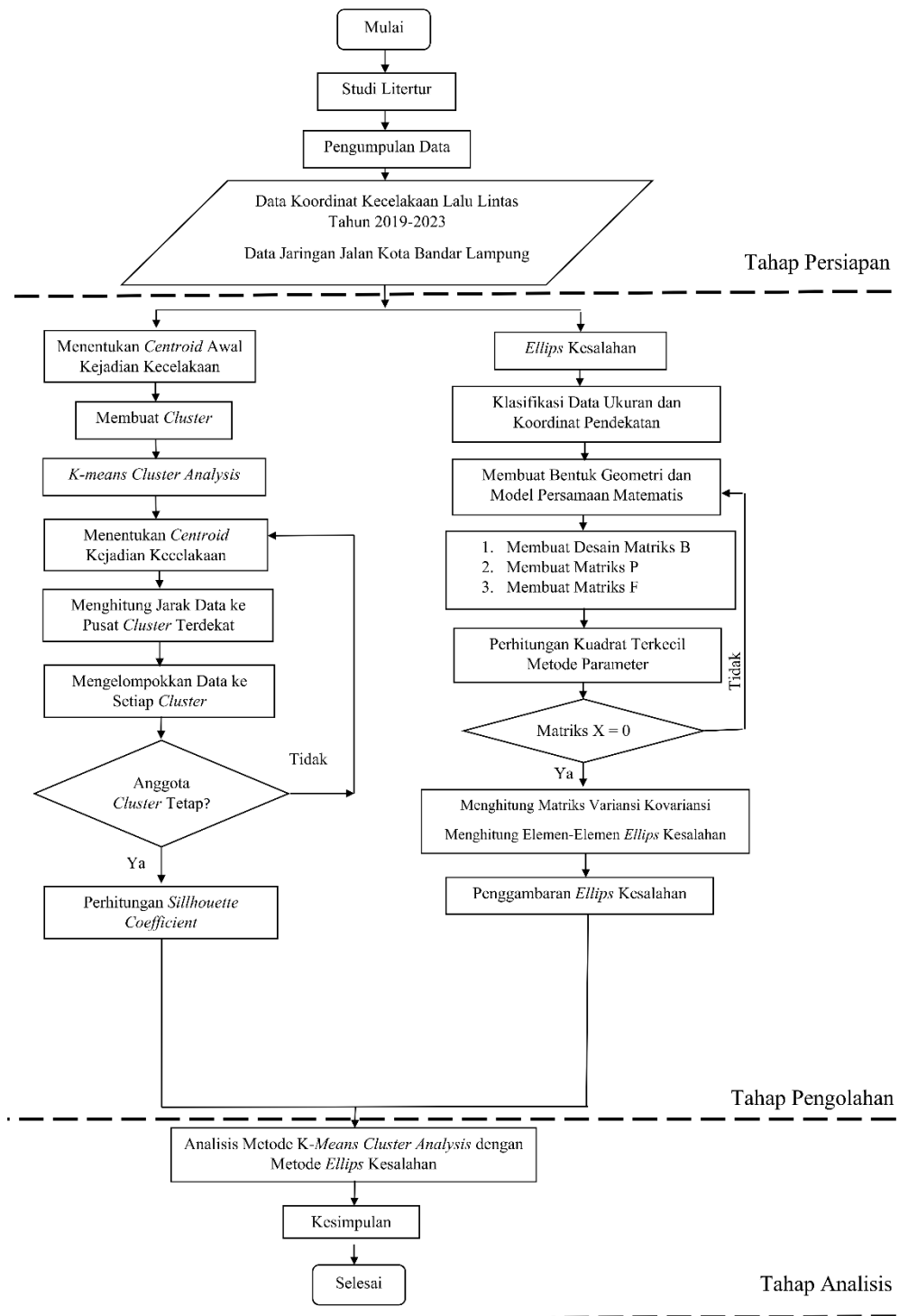


Gambar 3. Pembagian Segmen Jalan



Gambar 4. Sebaran Titik Kecelakaan Lalu Lintas dari Tahun 2019 Sampai Tahun 2023 di Sepanjang Jalan Yos Sudarso

Diagram alir pada Gambar 5 merepresentasikan secara visual urutan langkah atau proses dalam sebuah prosedur.



Gambar 5. Diagram Alir

Bagian-bagian utama dalam diagram alir diantaranya mencakup:

3.3.1. Persiapan

Persiapan merupakan langkah awal yang dilakukan sebelum proses utama dimulai. Penulis memulai persiapan dengan melakukan studi literatur terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data koordinat kecelakaan lalu lintas tahun 2019 sampai tahun 2023 untuk melanjutkan ke tahap berikutnya.

a. Studi Literatur

Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh teori-teori yang mendukung topik penelitian terkait dengan masalah yang diangkat. Studi pustaka ini dilakukan dengan cara membaca buku, jurnal, dan artikel-artikel *online*.

b. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan dalam penelitian. Data yang digunakan adalah data kecelakaan lalu lintas yang diperoleh dari Satlantas Polresta Bandar Lampung. Data kecelakaan memuat informasi spasial yang berkaitan dengan kejadian kecelakaan lalu lintas di Jalan Yos Sudarso, Kecamatan Teluk Betung Selatan dan Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung.

3.3.2. Pengolahan

Tahap pengolahan merupakan inti dari proses. Tahap pengolahan pada penelitian ini menggunakan dua metode yaitu metode *K-means Cluster Analysis* dan *Ellips Kesalahan*. Tabel 5 menunjukkan waktu penggunaan metode *K-means Cluster Analysis* dan *Ellips Kesalahan* dalam menentukan daerah rawan kecelakaan.

Tabel 5. Waktu Penggunaan *K-means Cluster Analysis* dan *Ellips Kesalahan*.

No.	<i>K-means Cluster Analysis</i>	<i>Ellips Kesalahan</i>
1	Mengelompokkan data kecelakaan lalu lintas berdasarkan jarak data ke titik pusat <i>cluster</i> . Jumlah kelompok risiko perlu ditentukan berdasarkan data kecelakaan lalu lintas.	Mengetahui sebaran daerah dengan kepadatan kecelakaan lalu lintas yang tinggi. Metode ini dilakukan dengan menganalisis ketidakpastian dalam distribusi titik kecelakaan lalu lintas.

Lanjutan Tabel 5

No.	<i>K-means Cluster Analysis</i>	<i>Ellips Kesalahan</i>
2	Mengidentifikasi kelompok wilayah dengan tingkat kecelakaan lalu lintas berbeda (rendah, sedang, tinggi).	Menentukan luas daerah yang memiliki risiko kecelakaan lalu lintas tertinggi.
3	Menentukan pola distribusi kecelakaan lalu lintas berdasarkan jarak data.	Memvisualisasikan daerah dengan tingkat ketidakpastian tinggi dalam distribusi kecelakaan lalu lintas.

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

1. Pengolahan Data dengan Metode *K-means Cluster Analysis*

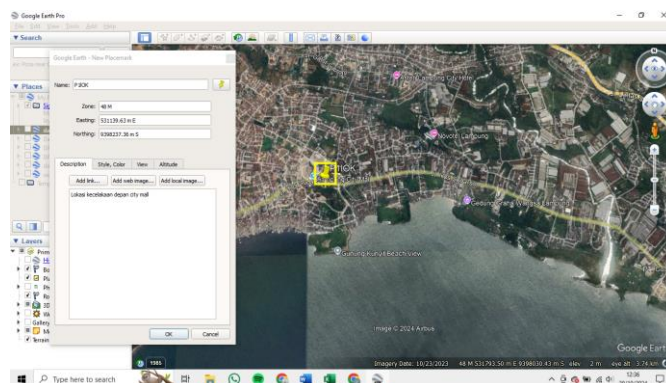
a. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data jumlah kecelakaan lalu lintas dari tahun 2019 sampai tahun 2023 yang didapatkan dari Satlantas Polresta Bandar Lampung. Data yang diperoleh disesuaikan terlebih dahulu untuk mempermudah proses pengolahan data.

b. Pra-Pemrosesan Data

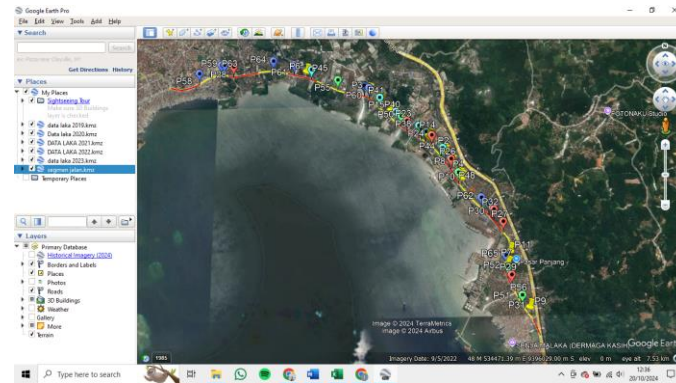
Pra-pemrosesan data dilakukan dengan cara berikut:

- 1) Data yang sudah diperoleh dilakukan konversi ke dalam bentuk koordinat di *Google Earth* dengan format *longitude*, *latitude*, nama poin, dan lokasi kecelakaan terjadi.



Gambar 6. Konversi Data ke *Google Earth*

- 2) Pengelompokkan data dalam *Google Earth* dilakukan dengan cara memasukkan data pertahun dengan warna yang berbeda-beda untuk mempermudah dalam proses analisis data.

Gambar 7. Pengelompokkan Data dalam *Google Earth*

- 3) Setelah semua data selesai dimasukkan ke dalam *Google Earth*, selanjutnya semua data dikonversi ke dalam format *excel* (.xlsx) untuk proses perhitungan dengan metode *K-means Cluster Analysis*. Data koordinat secara lengkap terdapat pada Lampiran.

Tabel 6. Koordinat Titik Kecelakaan

No.	X (meter)	Y (meter)	Nama Titik
1	534.672	9.396.807	P1
2	534.702	9.396.771	P2
3	533.486	9.397.832	P3
4	534.927	9.396.381	P4
5	533.645	9.397.678	P5
6	532.451	9.398.187	P6
7	535.630	9.394.961	P7
8	534.815	9.396.596	P8
9	535.936	9.394.301	P9
10	534.960	9.396.341	P10
11	535.679	9.395.168	P11
12	533.682	9.397.644	P12
13	534.033	9.397.318	P13
14	534.451	9.397.041	P14
15	533.845	9.397.488	P15
16	534.481	9.396.996	P16
17	534.461	9.397.017	P17

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

c. Perhitungan Data

Perhitungan data pada penelitian ini sebagai berikut.

- 1) Tahap pertama dalam pengolahan data dengan metode *K-means Cluster Analysis* adalah penentuan jumlah *cluster* yang akan dibuat. Setelah jumlah *cluster* ditentukan, selanjutnya adalah memilih

centroid (titik pusat) awal. Penentuan *centroid* awal dilakukan secara acak. *Centroid* berfungsi untuk menentukan titik pusat dari masing-masing *cluster* yang sudah ditentukan jumlahnya.

Tabel 7. *Centroid* Awal

<i>Centroid</i> Awal			
Nama	Titik	X (meter)	Y (meter)
Cluster 1	P59	531.062	9.398.254
Cluster 2	P17	534.365	9.397.083
Cluster 3	P52	535.657	9.394.848

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

- 2) Setelah *centroid* awal terbentuk maka dilakukan perhitungan dengan metode *K-means Cluster Analysis*. Perhitungan dengan metode *K-means Cluster Analysis* dapat menggunakan rumus berikut.

$$D_{L2}(x_2, x_1) = |x_2 - x_1|_2 = \sqrt{\sum_{j=1}^p (x_{2j} - x_{1j})^2} \dots\dots\dots (21)$$

Penentuan jarak masing-masing titik dengan *centroid* awal dilakukan dengan menghitung jarak dari suatu titik ke masing-masing *centroid* awal. Berikut adalah sampel hitungan jarak dari titik menuju masing-masing *centroid*. Data hitungan secara lengkap terdapat pada Lampiran.

Tabel 8. Jarak dari Titik Koordinat ke *Centroid* Awal

Nama Titik	X (meter)	Y (meter)	C1	C2	C3
P58	530.704	9.398.113	384,7662	3.803,133	5.932,321
P59	531.114	9.398.253	52,00961	3.455,127	5.677,4
P63	531.062	9.398.254	0	3.504,433	5.719,691
P28	531.269	9.398.218	210,1071	3.297,49	5.532,761
P64	531.928	9.398.306	867,5598	2.726,664	5.085,588
P61	532.276	9.398.234	1.214,165	2.385,104	4.784,993
P6	532.451	9.398.187	1.390,615	2.209,573	4.628,969
P45	532.566	9.398.143	1.508,091	2.088,062	4.517,887

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

- 3) Kemudian dikelompokkan setiap titik ke *centroid* awal dengan melihat jarak terdekat antara titik kecelakaan dengan titik *centroid*. Data hitungan secara lengkap terdapat pada Lampiran.

Tabel 9. Kelompok dari Masing-Masing Titik Koordinat

Nama Titik	X (meter)	Y (meter)	C1	C2	C3	Kelompok
P58	530.704	9.398.113	384,7	3.803,1	5.932,3	C1
P59	531.114	9.398.253	52	3.455,1	5.677,4	C1
P63	531.062	9.398.254	0	3.504,4	5.719,6	C1
P28	531.269	9.398.218	210,1	3.297,4	5.532,7	C1
P64	531.928	9.398.306	867,5	2.726,6	5.085,5	C1
P61	532.276	9.398.234	1.214,1	2.385,1	4.784,9	C1
P6	532.451	9.398.187	1.390,6	2.209,5	4.628,9	C1
P45	532.566	9.398.143	1.508	2.088	4.517,8	C1
P55	533.002	9.397.953	1.963,2	1.616,9	4.085,3	C2
P57	533.440	9.397.845	2.412,9	1.198,4	3.727,8	C2
P3	533.486	9.397.832	2.460,4	1.154,8	3.690,1	C2
P60	533.518	9.397.806	2.496,5	1.113,6	3.650,3	C2
P5	533.645	9.397.678	2.646,4	934	3.472,3	C2
P12	533.682	9.397.644	2.690	883,8	3.423,1	C2
P41	533.693	9.397.635	2.702,8	869,6	3.409,4	C2
P15	533.845	9.397.488	2.886,4	659,1	3.202	C2

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

- 4) Setelah dikelompokkan titik lokasi kecelakaan dengan *centroid* terdekat, selanjutnya ditentukan *centroid* baru dengan cara menghitung rata-rata koordinat dari masing-masing *cluster* yang terbentuk untuk digunakan dalam proses perhitungan selanjutnya.

Tabel 10. *Centroid* Baru Iterasi 1

<i>Centroid</i> Baru Iterasi 1		
Nama	X (meter)	Y (meter)
<i>Cluster 1</i>	531.671,25	9.398.213,5
<i>Cluster 2</i>	534.309,4242	9.397.075,849
<i>Cluster 3</i>	535.642,3571	9.395.029,857

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

Proses perhitungan kedua dilakukan dengan cara yang sama, yaitu dihitung jarak dari titik koordinat kecelakaan dengan *centroid* baru.

- 5) Kemudian setelah mendapat jarak antara titik koordinat kecelakaan dengan *centroid* baru maka langkah selanjutnya adalah mengelompokkan kembali titik koordinat kecelakaan ke masing-masing *cluster*. Proses dilakukan dengan pengulangan sampai anggota dari masing-masing *cluster* sudah tidak berubah lagi.

Tabel 11. *Centroid* Iterasi 2

<i>Centroid Baru Iterasi 2</i>		
Nama	X (meter)	Y (meter)
<i>Cluster 1</i>	531.819,1111	9.398.184,556
<i>Cluster 2</i>	534.350,2813	9.397.048,438
<i>Cluster 3</i>	535.642,3571	9.395.029,857

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

Tabel 12. *Centroid* Iterasi 3

<i>Centroid Baru Iterasi 3</i>		
Nama	X (meter)	Y (meter)
<i>Cluster 1</i>	531.819,1111	9.398.184,556
<i>Cluster 2</i>	534.350,2813	9.397.048,438
<i>Cluster 3</i>	535.642,3571	9.395.029,857

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

- 6) Jika sudah tidak terjadi perubahan pada masing-masing anggota *cluster*, maka perhitungan data dengan metode *K-means Cluster Analysis* selesai.

d. Uji Hasil dengan Menggunakan *Silhouette Coefficient*

Silhouette Coefficient digunakan untuk menghitung sejauh mana data berada dalam *cluster* sendiri dan jauh dari *cluster* lain. Metode ini dapat mengevaluasi kesesuaian data titik koordinat kecelakaan dengan *cluster* tempat data berada, atau mengevaluasi kemiripan dengan *cluster* lain. Proses evaluasi hasil menggunakan *Silhouette Coefficient* sebagai berikut.

- 1) Langkah awal perhitungan *Silhouette Coefficient* dilakukan dengan mencari nilai $a(i)$ yang merupakan rata-rata jarak dari suatu titik koordinat dengan semua titik koordinat dalam *cluster* yang sama. Data hitungan secara lengkap terdapat pada Lampiran.

Tabel 13. Nilai $a(i)$

No.	Nama	$a(i)$
1	P58	1.265,353464
2	P59	916,063689
3	P63	948,8156022
4	P28	856,2971581
5	P64	783,5013142

Lanjutan Tabel 13

No.	Nama	a(i)
6	P61	822,3868846
7	P6	887,4430297
8	P45	960,8532033
9	P55	1.364,355422

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

Hasil digunakan untuk menghitung *Silhouette Coefficient*.

- 2) Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai rata-rata jarak titik koordinat pada *Cluster* 1 dengan semua titik koordinat *cluster* lain. Data hitungan secara lengkap terdapat pada Lampiran.

Tabel 14. Nilai Rata-Rata Jarak

No.	Nama	d(i,1)	d(i,2)	d(i,3)
1	P58	-	3.810,767278	5.802,122569
2	P59	-	3.463,247929	5.534,287378
3	P63	-	3.512,437154	5.577,635277
4	P28	-	3.306,091308	5.387,484498
5	P64	-	2.735,944773	4.921,721461
6	P61	-	2.395,054148	4.614,158564
7	P6	-	2.219,871291	4.454,687457
8	P45	-	2.098,664095	4.341,651138
9	P55	-	1.629,147579	3.901,593221

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

- 3) Kemudian dihitung nilai jarak terkecil b(i) dari rata-rata tersebut. Data hitungan secara lengkap terdapat pada Lampiran.

Tabel 15. Nilai b(i)

No.	Nama	b(i)
1	P58	3.810,76728
2	P59	3.463,24793
3	P63	3.512,43715
4	P28	3.306,09131
5	P64	2.735,94477
6	P61	2.395,05415

Lanjutan Tabel 15

No.	Nama	b(i)
7	P6	2.219,87129
8	P45	2.098,6641
9	P55	1.629,14758

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

- 4) Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai dari *Silhouette Coefficient* atau $s(i)$ yang merupakan rata-rata dari semua data. Data hitungan secara lengkap terdapat pada Lampiran.

Tabel 16. Nilai S(i)

No.	Nama	S(i)
1	P58	0,438703903
2	P59	0,460255145
3	P63	0,459625168
4	P28	0,45471948
5	P64	0,3966993
6	P61	0,340835115
7	P6	0,299107013
8	P45	0,262068705
9	P55	0,0678677

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

- 5) Selanjutnya ditentukan kualitas dari *cluster* tersebut.

Tabel 17. Hasil dari *Silhouette Coefficient*

Hasil <i>Silhouette Coefficient</i>	
Nama	Hasil
<i>Cluster 1</i>	0,616609599
<i>Cluster 2</i>	0,601610045
<i>Cluster 3</i>	0,673037007

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

Hasil perhitungan *Silhouette Coefficient* menunjukkan kekuatan dari masing-masing *cluster*, yaitu sebagai berikut.

Tabel 18. Hasil Klasifikasi *Silhouette Coefficient*

Hasil <i>Silhouette Coefficient</i>	
Nama	Hasil
<i>Cluster 1</i>	<i>Medium Structure</i>
<i>Cluster 2</i>	<i>Medium Structure</i>
<i>Cluster 3</i>	<i>Medium Structure</i>

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

2. Pengolahan Data dengan Metode *Ellips* Kesalahan

a. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan menggunakan data jumlah kecelakaan tahun 2019 sampai tahun 2023 dari Satlantas Polresta Bandar Lampung.

b. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan metode *Ellips* Kesalahan dan diproses dengan perangkat lunak. Proses pengolahan data diawali dengan pengambilan data titik koordinat kejadian kecelakaan lalu lintas, penentuan titik pendekatan, penentuan titik pusat sementara kecelakaan lalu lintas, perhitungan perataan, dan penggambaran *ellips*.

1) Penentuan titik pusat pendekatan dan titik pusat sementara persebaran kecelakaan lalu lintas Tahun 2019 sampai Tahun 2023

Data titik koordinat kecelakaan kemudian diplot dan ditentukan segmen dan titik yang paling mendekati *centroid*. Titik X diasumsikan sebagai titik *centroid* pendekatan yang diperoleh dengan mengambil titik *center* yang paling dekat dengan persebaran titik kecelakaan di segmen tengah Jalan Yos Sudarso yaitu (534.545; 9.396.944).

Selanjutnya diasumsikan bahwa jarak dan *azimuth* dari titik koordinat kecelakaan ke titik pendekatan adalah data ukuran. Maka dihitung jarak dan *azimuth* dari data koordinat kecelakaan ke titik pusat pendekatan untuk mendapatkan jarak dan *azimuth* ukuran. Berikut adalah hasil ukuran jarak dan *azimuth*. Data hitungan secara lengkap terdapat pada Lampiran.

Tabel 19. Jarak dan *Azimuth* Ukuran

No.	Jarak Ukuran	<i>Azimuth</i> Ukuran
1	186,8100043	137,1692406
2	233,6192883	137,77579
3	1382,036593	129,9807409
4	680,3623361	145,8427903
5	1161,359599	129,1991586
6	2435,135561	120,6934019
⋮	⋮	⋮
54	2950,209013	117,4944205
55	2207,571672	330,3227214

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

Penentuan titik pusat sementara sebaran kecelakaan lalu lintas dilakukan dengan menghitung rata-rata koordinat kecelakaan sehingga menghasilkan koordinat pusat sementara dari titik koordinat kecelakaan yaitu (534.264,9 ; 9.396.736,5). Jarak dan *azimuth* dari titik pusat sementara diasumsikan sebagai data pendekatan, kemudian dihitung jarak dan *azimuth* dari koordinat pusat sementara. Berikut adalah hasil hitungan jarak dan *azimuth*. Data hitungan secara lengkap terdapat pada Lampiran.

Tabel 20. Jarak Pendekatan dan *Azimuth* Pendekatan.

No.	Jarak (m)	<i>Azimuth</i> (°)
1	413,0678906	260,1819413
2	438,3728489	265,4944895
3	1344,170194	144,5827764
4	751,4609567	298,23982
5	1127,244379	146,6331447
6	2322,562312	128,6453783
⋮	⋮	⋮
54	2815,069188	123,8839471
55	2193,446344	321,2470314

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

2) Hitungan Perataan dalam Penentuan Matriks Variansi Kovariansi

Perhitungan perataan dilakukan dengan mengukur jarak dan *azimuth* dari tiap titik koordinat kecelakaan ke titik pusat kecelakaan sementara. Cara ini dilakukan dengan memplot titik koordinat kecelakaan dan titik pusat kecelakaan sementara, kemudian diukur jarak dan *azimuth* sehingga

menghasilkan jarak dan *azimuth* dari tiap titik koordinat kecelakaan ke titik pusat kecelakaan sementara sebagai nilai jarak dan *azimuth* hitungan. Kemudian menghitung jarak dan *azimuth* berdasarkan data koordinat titik pendekatan untuk menghasilkan nilai jarak dan *azimuth* ukuran.

Selanjutnya menentukan koordinat titik pusat kecelakaan dan ketelitiannya. Pada tahap ini, digunakan metode perhitungan kuadrat tekecil metode parameter. Proses perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai koordinat estimasi dari titik koordinat pusat pendekatan yang telah ditentukan di awal. Proses perhitungan adalah sebagai berikut.

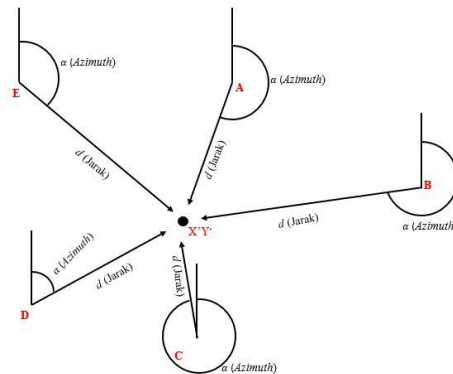
1. Tahap pertama adalah membentuk geometri pengamatan untuk mempermudah tahap penyusunan persamaan pengamatan.
2. Kemudian menentukan ukuran dan parameter dari data kecelakaan lalu lintas tahun 2019 sampai tahun 2023. Data koordinat kecelakaan menunjukkan bahwa tahun 2019 sampai tahun 2023 terdapat 55 kasus kecelakaan lalu lintas. Maka terdapat 110 ukuran yang terdiri dari 55 jarak dan 55 *azimuth*, dan dari 110 ukuran ini digunakan untuk menghitung nilai absis dan ordinatnya.

Setelah mendapatkan data jarak dan *azimuth* ukuran serta data jarak dan *azimuth* hitungan, selanjutnya menentukan matriks B, P, dan F.



Gambar 8. Hubungan Titik B ke A

Gambar 8 menunjukkan hubungan antara titik B sebagai titik koordinat kejadian kecelakaan menuju titik A sebagai titik pendekatan pusat koordinat kecelakaan lalu lintas untuk mengetahui koordinat titik A diperlukan nilai jarak dan *azimuth* dari titik B menuju titik A kemudian diturunkan menjadi matriks B.



Gambar 9. Hubungan Sebaran Titik Kecelakaan ke Titik Pusat Kecelakaan

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara beberapa titik kecelakaan lalu lintas (A, B, C, D, dan E) dengan titik pusat kecelakaan (X_p, Y_p) berdasarkan data koordinat x dan y. Gambar 9 digunakan untuk menganalisis sebaran kecelakaan lalu lintas berdasarkan posisi relatif terhadap pusat kecelakaan. Konsentrasi kecelakaan dan penentuan daerah rawan kecelakaan dapat diketahui dengan menghitung nilai jarak dan *azimuth*.

Kemudian menyusun persamaan matematis pengamatan sesuai dengan persamaan $L = f(x)$. Jumlah persamaan yang terbentuk ada 55 persamaan *azimuth* dan 55 persamaan jarak.

Berdasarkan Gambar 9 diketahui bahwa titik koordinat diantaranya $X_1;Y_1, X_2;Y_2, X_3;Y_3$, sampai $X_{55};Y_{55}$ dengan data ukuran $\alpha_1;d_1, \alpha_2;d_2, \alpha_3;d_3$, sampai $\alpha_{55};d_{55}$. Selanjutnya mencari titik P sebenarnya ($X_o ;Y_o$) dengan perhitungan sebagai berikut.

Ukuran (n) yang diketahui adalah 110 dan ukuran yang diperlukan (u) berjumlah 2, maka derajat kebebasannya (r) adalah 108.

a. Persamaan pengamatan (L)

Persamaan pengamatan adalah sebagai berikut.

$$X_o = X_1 + d \sin \alpha \dots\dots\dots(22)$$

$$Y_o = Y_1 + d \cos \alpha \dots\dots\dots(23)$$

Berdasarkan persamaan 22 dan 23, maka didapatkan:

$$\text{Jarak (d)} = d = \sqrt{(X_o - X_1)^2 + (Y_o - Y_1)^2} \dots\dots\dots(24)$$

$$Azimuth (\alpha) = \alpha = Arctan \left(\frac{X_0 - X_1}{Y_0 - Y_1} \right) \dots\dots\dots(25)$$

b. Persamaan koreksi (V)

Persamaan koreksi jarak (d) adalah sebagai berikut.

$$F(d) = d_1 = \sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2} \dots\dots\dots(26)$$

Selanjutnya persamaan 26 diturunkan menjadi:

$$d_1 = \sqrt{((X_0 + \Delta X_0) - X_1)^2 + ((Y_0 + \Delta Y_0) - Y_1)^2} \dots\dots\dots(27)$$

Maka:

$$Fd_1 (X_0; Y_0) = Fd_1 (X_0 + \Delta X_0; Y_0 + \Delta Y_0)$$

$$d_1 + Vd_1 = Fd_1 (X_0; Y_0) + \frac{\partial Fd_1}{\partial X_0} \Delta X_0 + \frac{\partial Fd_1}{\partial Y_0} \Delta Y_0$$

Maka untuk menentukan nilai koreksi jarak sebagai berikut.

$$Vd_1 = Fd_1 (X_0; Y_0) + \frac{\partial Fd_1}{\partial X_0} \Delta X_0 + \frac{\partial Fd_1}{\partial Y_0} \Delta Y_0 - d_1 \dots\dots\dots(28)$$

Persamaan koreksi *azimuth* (α) adalah sebagai berikut.

$$F(\alpha) = \alpha_1 = Arctan \left(\frac{X_0 - X_1}{Y_0 - Y_1} \right) \dots\dots\dots(29)$$

Selanjutnya persamaan 29 diturunkan menjadi:

$$\alpha_1 = Arctan \left(\frac{(X_0 + \Delta X_0) - X_1}{(Y_0 + \Delta Y_0) - Y_1} \right) \dots\dots\dots(30)$$

Maka:

$$F\alpha_1 (X_0; Y_0) = F\alpha_1 (X_0 + \Delta X_0; Y_0 + \Delta Y_0)$$

$$\alpha_1 + V\alpha_1 = F\alpha_1 (X_0; Y_0) + \frac{\partial F\alpha_1}{\partial X_0} \Delta X_0 + \frac{\partial F\alpha_1}{\partial Y_0} \Delta Y_0$$

Maka untuk menentukan nilai koreksi *azimuth* sebagai berikut.

$$V\alpha_1 = F\alpha_1 (X_0; Y_0) + \frac{\partial F\alpha_1}{\partial X_0} \Delta X_0 + \frac{\partial F\alpha_1}{\partial Y_0} \Delta Y_0 - \alpha_1 \dots\dots\dots(31)$$

Persamaan 28 sebagai turunan jarak (d) terhadap X_0 dan Y_0 , dan persamaan 31 sebagai turunan *azimuth* (α) terhadap X_0 dan Y_0 .

Turunan jarak (d) terhadap X_0 dan Y_0 adalah sebagai berikut.

$$d = \sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2} \dots\dots\dots(32)$$

Turunan jarak (d) terhadap X_0 yaitu:

$$F(X_0) = [(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2]^{1/2}$$

$$u(X_0) = (X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2$$

$$F(X_0) = u(X_0)^{1/2}$$

Maka aturan rantainya yaitu:

$$F'(A) = \frac{1}{2} u (X_0)^{-1/2} u' (A) \dots\dots\dots(33)$$

Berdasarkan persamaan 33, maka turunan terhadap X_0 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F'(X_0) &= \frac{1}{2} [(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2]^{1/2} 2 (X_0 - X_1) \\ F'(X_0) &= \frac{\partial d_1}{\partial X_0} = + \frac{(X_0 - X_1)}{\sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2}} \dots\dots\dots(34) \end{aligned}$$

Selanjutnya turunan terhadap Y_0 yaitu:

$$\begin{aligned} F'(Y_0) &= \frac{1}{2} [(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2]^{1/2} 2 (Y_0 - Y_1) \\ F'(Y_0) &= \frac{\partial d_1}{\partial Y_0} = + \frac{(Y_0 - Y_1)}{\sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2}} \dots\dots\dots(35) \end{aligned}$$

Turunan *azimuth* (α) terhadap X_0 dan Y_0 adalah sebagai berikut.

$$\alpha = \text{Arctan} \left(\frac{X_0 - X_1}{Y_0 - Y_1} \right) \dots\dots\dots(36)$$

$$F(X) = \text{Arctan} (X) = \frac{1}{1-X^2}$$

$$\text{dengan } \frac{X_0 - X_1}{Y_0 - Y_1} = \frac{uv - uv'}{v^2}$$

Berdasarkan persamaan 36, maka turunan *azimuth* (α) terhadap X_0 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F(X_0) &= \frac{1}{1 + \frac{(X_0 - X_1)^2}{(Y_0 - Y_1)^2}} \frac{(Y_0 - Y_1)}{(Y_0 - Y_1)^2} \\ &= \frac{(Y_0 - Y_1)^2}{(Y_0 - Y_1)^3 + ((Y_0 - Y_1)^2 + (X_0 - X_1)^2)} \\ &= \frac{(Y_0 - Y_1)^2}{(Y_0 - Y_1)^2 + ((Y_0 - Y_1)^2 + (X_0 - X_1)^2)} \\ \frac{\partial \alpha}{\partial X} &= + \frac{Y_0 - Y_1}{(Y_0 - Y_1)^2 + (X_0 - X_1)^2} \dots\dots\dots(37) \end{aligned}$$

Kemudian turunan *azimuth* (α) terhadap Y_0 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F(Y_0) &= \frac{1}{1 + \frac{(X_0 - X_1)^2}{(Y_0 - Y_1)^2}} \frac{-(X_0 - X_1)}{(Y_0 - Y_1)^2} \\ \frac{\partial \alpha}{\partial Y} &= - \frac{X_0 - X_1}{(Y_0 - Y_1)^2 + (X_0 - X_1)^2} \dots\dots\dots(38) \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan yang sudah terbentuk, maka matriks V adalah sebagai berikut.

$$L\alpha_1 + V\alpha_1 = \text{Arctan} \left(\frac{X_0 - X_1}{Y_0 - Y_1} \right)$$

$$Ld_1 + Vd_1 = \sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2}$$

$$L\alpha_2 + V\alpha_2 = \text{Arctan} \left(\frac{X_0 - X_2}{Y_0 - Y_2} \right)$$

$$Ld_2 + Vd_2 = \sqrt{(X_0 - X_2)^2 + (Y_0 - Y_2)^2}$$

$$L\alpha_3 + V\alpha_3 = \text{Arctan} \left(\frac{X_0 - X_3}{Y_0 - Y_3} \right)$$

$$Ld_3 + Vd_3 = \sqrt{(X_0 - X_3)^2 + (Y_0 - Y_3)^2}$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$L\alpha_{55} + V\alpha_{55} = \text{Arctan} \left(\frac{X_0 - X_{55}}{Y_0 - Y_{55}} \right)$$

$$Ld_{55} + Vd_{55} = \sqrt{(X_0 - X_{55})^2 + (Y_0 - Y_{55})^2}$$

Penentuan nilai koreksi (V) dilakukan dengan memindah ruaskan nilai ukuran menjadi seperti berikut.

$$V\alpha_1 = \text{Arctan} \left(\frac{X_0 - X_1}{Y_0 - Y_1} \right) - L\alpha_1$$

$$Vd_1 = \sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2} - Ld_1$$

$$V\alpha_2 = \text{Arctan} \left(\frac{X_0 - X_2}{Y_0 - Y_2} \right) - L\alpha_2$$

$$Vd_2 = \sqrt{(X_0 - X_2)^2 + (Y_0 - Y_2)^2} - Ld_2$$

$$V\alpha_3 = \text{Arctan} \left(\frac{X_0 - X_3}{Y_0 - Y_3} \right) - L\alpha_3$$

$$Vd_3 = \sqrt{(X_0 - X_3)^2 + (Y_0 - Y_3)^2} - Ld_3$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$V\alpha_{55} = \text{Arctan} \left(\frac{X_0 - X_{55}}{Y_0 - Y_{55}} \right) - L\alpha_{55}$$

$$Vd_{55} = \sqrt{(X_0 - X_{55})^2 + (Y_0 - Y_{55})^2} - Ld_{55}$$

Selanjutnya adalah penyusunan matriks B yang berisi turunan persamaan jarak dan *azimuth* parameter X dan Y pendekatan. Matriks B yang terbentuk untuk persamaan matematis koordinat x dan y berdimensi 110x2 (nxu) adalah sebagai berikut.

$$B_{(110 \times 2)} = \begin{matrix} & \Delta X & \Delta Y \\ \begin{matrix} \frac{\partial X_1}{\partial X_0} & \frac{\partial X_1}{\partial Y_0} \\ \frac{\partial Y_1}{\partial X_0} & \frac{\partial Y_1}{\partial Y_0} \\ \frac{\partial X_2}{\partial X_0} & \frac{\partial X_2}{\partial Y_0} \\ \frac{\partial Y_2}{\partial X_0} & \frac{\partial Y_2}{\partial Y_0} \\ \frac{\partial X_3}{\partial X_0} & \frac{\partial X_3}{\partial Y_0} \\ \frac{\partial Y_3}{\partial X_0} & \frac{\partial Y_3}{\partial Y_0} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial X_{55}}{\partial X_0} & \frac{\partial X_{55}}{\partial Y_0} \\ \frac{\partial Y_{55}}{\partial X_0} & \frac{\partial Y_{55}}{\partial Y_0} \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \end{matrix}$$

Berdasarkan matriks B yang terbentuk, baris pertama merupakan turunan *azimuth* terhadap nilai parameter X dan Y pendekatan. Baris kedua merupakan turunan jarak terhadap nilai parameter X dan Y pendekatan. Kolom pertama berisi turunan terhadap X dan kolom kedua berisi turunan terhadap Y yang menghasilkan matriks B seperti berikut ini. Data hitungan secara lengkap terdapat pada Lampiran.

$$B_{(110 \times 2)} = \begin{bmatrix} -0,000412814 & 0,002385453 \\ -0,985354202 & -0,170520076 \\ -0,000179197 & 0,002274114 \\ -0,996909783 & -0,078554975 \\ -0,000629658 & 0,001172349 \\ 0,57952618 & -0,814953622 \\ \vdots & \vdots \\ 0,000355537 & 0,000285379 \\ -0,625963879 & 0,779852052 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya adalah menyusun matriks bobot (P) yaitu matriks diagonal yang berisi satu pervarian ukuran. Pada kasus ini, matriks bobot P adalah matriks berukuran (n×n) dan berdimensi 110×110 yang dibentuk sebagai matriks diagonal. Matriks bobot P ditentukan berdasarkan nilai d (Jarak), yaitu semakin besar jarak maka koreksi semakin kecil. Data hitungan secara lengkap terdapat pada Lampiran.

Matriks $P_{(110 \times 110)} =$

$$\begin{bmatrix} D_1 & & & & & & & & \\ & D_1 & & & & & & & \\ & & D_2 & & & & & & \\ & & & D_2 & & & & & \\ & \emptyset & & & D_3 & & & & \emptyset \\ & & & & & D_3 & & & \\ & & & & & & \vdots & & \\ & & & & & & & D_{55} & \\ & & & & & & & & D_{55} \end{bmatrix}$$

Matriks $P_{(110 \times 110)} =$

$$\begin{bmatrix} 413 & & & & & & & & \\ & 413 & & & & & & & \\ & & 438 & & & & & & \\ & & & 438 & & & & & \\ & \emptyset & & & 1344 & & & & \emptyset \\ & & & & & 1344 & & & \\ & & & & & & \vdots & & \\ & & & & & & & 2193 & \\ & & & & & & & & 2193 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya adalah menyusun matriks F, yaitu matriks kesalahan penutup yang berisi nilai pendekatan dikurangi dengan nilai ukuran atau selisih antara nilai pendekatan dengan nilai ukuran. Matriks F ini adalah matriks kolom yang jumlah barisnya sama dengan jumlah ukuran, sehingga matriks F berdimensi (110×1) seperti di bawah ini. Data hitungan secara lengkap terdapat pada Lampiran.

$$F_{(110 \times 1)} = \begin{bmatrix} \alpha_1^0 - \alpha_1^u \\ d_1^0 - d_1^u \\ \alpha_2^0 - \alpha_2^u \\ d_2^0 - d_2^u \\ \alpha_3^0 - \alpha_3^u \\ d_3^0 - d_3^u \\ \vdots \\ \alpha_{55}^0 - \alpha_{55}^u \\ d_{55}^0 - d_{55}^u \end{bmatrix}$$

Matriks F berisi nilai *azimuth* pada baris pertama dan nilai jarak pada baris kedua, baris ketiga dan keempat berurutan sampai dengan baris ke 110 kemudian dihitung dan menghasilkan matriks seperti di bawah ini. Data hitungan secara lengkap terdapat pada Lampiran.

$$F_{(110 \times 1)} = \begin{bmatrix} -0,001 \\ -0,007 \\ -0 \\ -0,008 \\ -0,0001 \\ 0,010 \\ \vdots \\ 0 \\ -0,010 \end{bmatrix}$$

Setelah mendapatkan matriks B yang berdimensi (110 x 2), matriks P berdimensi (110x110), dan matriks F berdimensi (110 x 1), maka dapat dihitung nilai dari matriks X.

$$X = - (B^T P B)^{-1} (B^T P F) \dots\dots\dots(39)$$

Selanjutnya menyusun matriks X yang berisi nilai parameter estimasi berupa nilai koreksi dengan dimensi matriks berukuran (2x1). Matriks X dijumlahkan dengan nilai koordinat yang bersesuaian untuk nilai proses iterasi, begitu seterusnya. Bentuk matriks X yaitu:

$$X = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix} \dots\dots\dots(40)$$

Hasil perhitungan matriks X digunakan sebagai koreksi nilai koordinat pendekatan. Setiap nilai matriks X ditambah dengan nilai koordinat pendekatan titik pusat kecelakaan sementara yang sesuai dan koordinat pendekatan yang telah dikoreksi dijadikan input koordinat pendekatan untuk melakukan iterasi hitung perataan, begitu selanjutnya.

$$X = X_0 + \Delta X_0$$

$$Y = Y_0 + \Delta Y_0$$

Persamaan 40 yaitu matriks X berisi nilai ΔX dan ΔY . Hasil perhitungan matriks X yaitu:

$$X = \begin{bmatrix} -192,3 \\ -120,2 \end{bmatrix}$$

Kemudian disubstitusikan ke dalam nilai X dan Y pendekatan pertama (534.545; 9.396.944) menghasilkan nilai pendekatan yang

kedua yaitu (534.352,7; 9.396.823,8). Hasil matriks X belum konstan, sehingga dilakukan iterasi. Berikut adalah nilai iterasi 1.

$$\text{Iterasi 1, } X = \begin{bmatrix} -80,6 \\ -80,9 \end{bmatrix}$$

Hasil iterasi 1 ditambahkan dengan nilai pendekatan kedua (534.352,7; 9.396.823,8) menghasilkan nilai pendekatan yang ketiga (534.272,1; 9.396.742,9). Hasil matriks X pada iterasi 1 belum konstan, sehingga dilakukan iterasi 2. Berikut adalah nilai iterasi 2.

$$\text{Iterasi 2, } X = \begin{bmatrix} -7 \\ -6 \end{bmatrix}$$

Hasil iterasi 2 ditambahkan dengan nilai pendekatan ketiga (534.272,1; 9.396.742,9) menghasilkan nilai pendekatan yang keempat (534.265,1; 9.396.736,9). Hasil matriks X pada iterasi 2 belum konstan, sehingga dilakukan iterasi 3. Berikut adalah nilai iterasi 3.

$$\text{Iterasi 3, } X = \begin{bmatrix} -0,2 \\ -0,4 \end{bmatrix}$$

Hasil iterasi 3 ditambahkan dengan nilai pendekatan keempat (534.265,1; 9.396.736,9) menghasilkan nilai pendekatan yang kelima (534.264,9; 9.396.744,5). Hasil matriks X pada iterasi 3 belum konstan, sehingga dilakukan iterasi 4. Berikut adalah nilai iterasi 4.

$$\text{Iterasi 4, } X = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Hasil matriks X sudah konstan dan nilai pendekatan yang ditambah dengan matriks X tidak berubah, maka tidak perlukan iterasi.

Berdasarkan persamaan X dan Y di atas maka dapat dihitung nilai X dan Y sebenarnya, yaitu dengan menjumlahkan nilai yang ada pada matriks X dengan X_0 dan Y_0 , sehingga nilai dari X dan Y koreksi yaitu (534.264,9; 9.396.736,5).

Setelah matriks X diketahui, selanjutnya menghitung matriks V dengan persamaan berikut.

$$V = BX + F \dots\dots\dots(41)$$

Perhitungan matriks V dengan dimensi (110x1) menggunakan persamaan matriks residu. Bentuk matriks V adalah sebagai berikut.

$$V_{(110 \times 1)} = \begin{bmatrix} V\alpha_1 \\ Vd_1 \\ V\alpha_2 \\ Vd_2 \\ V\alpha_3 \\ Vd_3 \\ \vdots \\ V\alpha_{55} \\ Vd_{55} \end{bmatrix}$$

Persamaan di atas menghasilkan matriks V di bawah ini. Data hitungan secara lengkap terdapat pada Lampiran.

$$V_{(110 \times 1)} = \begin{bmatrix} -0,0000406764 \\ 0,0000206296 \\ -0,000045036 \\ -0,000012997 \\ 0,0000272313 \\ 0,0000265017 \\ \vdots \\ -0,000043401 \\ 0,001037558 \end{bmatrix}$$

Setelah mendapat nilai matriks V, selanjutnya dapat dihitung ketelitian pengamatan atau variansi baku dengan rumus di bawah ini.

$$\sigma_o^2 = \frac{V^T P V}{R} \dots\dots\dots(42)$$

$$\sigma_o^2 = \frac{25,13751438}{108}$$

Persamaan variansi menghasilkan nilai variansi baku sebesar 0,482446642. Selanjutnya dihitung nilai matriks variansi kovariansi parameter Σ_{xx} untuk menyusun *Ellips* Kesalahan, yaitu mengetahui ketelitian dari masing-masing nilai parameter yang telah diperoleh. Adapun dimensi dari matriks Σ_{xx} ini adalah (2x2).

$$\Sigma_{xx} = \sigma_o^2 \cdot Q_{xx} \dots\dots\dots(43)$$

$$\Sigma_{xx} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix}$$

Keterangan:

σ_x^2 = Variansi Kesalahan di Titik (x)

σ_y^2 = Variansi Kesalahan di Titik (y)

σ_{xy} = Variansi Kovariansi

σ_{xy} = Variansi Kovariansi

$\sigma_{xy} = \sqrt{(\sigma_x^2)} = \text{Ketelitian Titik (x)}$

$\sigma_{xy} = \sqrt{(\sigma_y^2)} = \text{Ketelitian Titik (y)}$

Perhitungan matriks varian kovarian menggunakan Q_{xx} dan simpangan baku dari perhitungan sebelumnya, mendapatkan hasil:

$$\Sigma_{xx} = \begin{bmatrix} 0,0000166 & 0,0000109161 \\ 0,0000109161 & 0,0000192532 \end{bmatrix}$$

Hasil perhitungan Σ_{xx} menunjukkan unsur-unsur varian kovarian seperti di bawah ini.

$$\sigma_x = 0,0000166$$

$$\sigma_y = 0,0000192532$$

$$\sigma_{xy} = 0,0000109161$$

Selanjutnya menghitung nilai sumbu panjang, sumbu pendek, serta sudut untuk menggambarkan *Ellips* Kesalahan dari koordinat titik pusat kecelakaan lalu lintas. Persamaan untuk menentukan nilai-nilai tersebut adalah sebagai berikut.

$$\sigma_{x'}^2 = \frac{1}{2} [(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) + \sqrt{4(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + \sigma_{xy}^2}]^{1/2} \dots\dots\dots (44)$$

$$\sigma_{y'}^2 = \frac{1}{2} [(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) - \sqrt{4(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + \sigma_{xy}^2}]^{1/2} \dots\dots\dots (45)$$

$$\tan 2\theta = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \dots\dots\dots (46)$$

Keterangan:

$\sigma_{x'}$ = Sumbu Semimajor *Ellips*

$\sigma_{y'}$ = Sumbu Semiminor *Ellips*

θ = Sudut Rotasi *Ellips*

σ_x = Standar Deviasi Absis (X)

σ_y = Standar Deviasi Ordinat (Y)

σ_{xy} = Korelasi Absis dan Ordinat (XY)

Setelah diketahui persamaan di atas dapat dilakukan perhitungan unsur-unsur dari *Ellips* Kesalahan tersebut sebagai berikut.

Untuk mencari nilai dari $\sigma_{x'}^2$, adalah sebagai berikut.

$$\sigma_{x'}^2 = \frac{1}{2} [(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) + \sqrt{4(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + \sigma_{xy}^2}]^{1/2} \dots\dots\dots(47)$$

$$\sigma_{x'}^2 = \frac{1}{2} [(0,00021 + 0,00024) + \sqrt{4(0,00021 - 0,00024) + 0,00013}]^{1/2}$$

$$\sigma_{x'}^2 = \frac{1}{2} [0,00045 + 0,00027]^{1/2}$$

$$\sigma_{x'}^2 = \frac{1}{2} [0,000733214]$$

$$\sigma_{x'}^2 = 0,999491904$$

Hasil yang didapatkan untuk nilai untuk $\sigma_{x'}^2$, adalah 0,999491904.

Selanjutnya untuk mencari nilai dari $\sigma_{y'}^2$, adalah sebagai berikut.

$$\sigma_{y'}^2 = \frac{1}{2} [(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) - \sqrt{4(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + \sigma_{xy}^2}]^{1/2} \dots\dots\dots(48)$$

$$\sigma_{y'}^2 = \frac{1}{2} [(0,00021 + 0,00024) - \sqrt{4(0,00021 - 0,00024) + 0,00013}]^{1/2}$$

$$\sigma_{y'}^2 = \frac{1}{2} [0,00045 - 0,00027]^{1/2}$$

$$\sigma_{y'}^2 = \frac{1}{2} [0,000175484]$$

$$\sigma_{y'}^2 = 0,999878371$$

Hasil yang didapatkan untuk nilai untuk $\sigma_{y'}^2$, adalah 0,999878371.

Selanjutnya menghitung nilai $\tan 2\theta$ sebagai berikut.

$$\tan 2\theta = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \dots\dots\dots(49)$$

$$\tan 2\theta = \frac{2(0,00013)}{0,00021 - 0,00024}$$

$$\tan 2\theta = \frac{0,00027}{-0,000033}$$

$$\tan 2\theta = 66,57864191$$

Kemudian $\tan 2\theta$ diubah ke dalam satuan derajat menjadi:

$$2\theta = 89,13949174^\circ.$$

Karena nilai dari 2θ berada pada kuadran 4, maka nilai tersebut ditambahkan dengan 180° menjadi $269,1394917^\circ$.

Maka untuk menghitung nilai sudut rotasi (θ) yaitu:

$$\theta = \frac{269,1394917}{2}$$

$$\theta = 134,5^\circ$$

Berdasarkan perhitungan nilai unsur-unsur *ellips* yang dihasilkan adalah sebagai berikut.

$$\sigma_{x'} = 999,97 \text{ m}$$

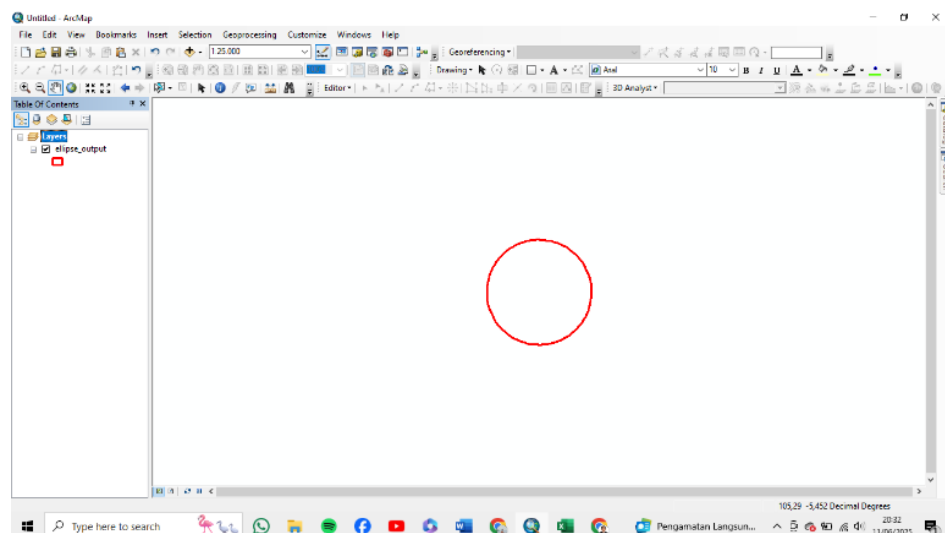
$$\sigma_{y'} = 999,99 \text{ m}$$

$$\theta = 134,5^\circ$$

Setelah dilakukan perhitungan dan didapatkan unsur-unsur dari *Ellips* Kesalahan yang berupa sumbu semimajor, sumbu semiminor, dan sudut rotasi *ellips*, selanjutnya dilakukan tahap analisis data. Analisis data yang dilakukan yaitu analisis luas dari *ellips* yang sudah digambarkan.

c. Penggambaran *Ellips* Kesalahan

Tahap penggambaran *Ellips* Kesalahan dilakukan dengan menghitung unsur-unsur dari *Ellips* Kesalahan yaitu sumbu semimajor, sumbu semiminor, dan sudut rotasi *ellips*. Setiap unsur tersebut diperoleh dari proses perhitungan sebelumnya. Gambar 10 adalah *Ellips* Kesalahan kejadian kecelakaan lalu lintas dari tahun 2019 sampai tahun 2023.



Gambar 10. *Ellips* Kesalahan Kejadian Kecelakaan Tahun 2019 Sampai Tahun 2023

Keterangan:

Sumbu Mayor $\sigma_{x'}$ = 999,97 m

Sumbu Minor $\sigma_{y'}$ = 999,99 m

Sudut Rotasi θ = 134,5°

Perhitungan Selang Kepercayaan dari *Ellips* Kesalahan

Penelitian ini menggunakan selang kepercayaan 95% yang dihitung setelah penentuan nilai *Ellips* Kesalahan. Selang kepercayaan 95% merupakan rentang nilai yang dihitung dari data sampel untuk memperkirakan nilai parameter sebenarnya dari suatu populasi. Lebar selang kepercayaan dipengaruhi oleh tiga faktor diantaranya yaitu tingkat keyakinan, ukuran sampel, dan variabilitas dalam sampel (Kluwer, 2022). Semakin tinggi tingkat keyakinan yang dipilih, maka selang akan semakin lebar; semakin besar ukuran sampel, maka selang kepercayaan cenderung menjadi lebih sempit; dan semakin besar variasi dalam data, maka selang akan menjadi lebih lebar.

Selang kepercayaan 95% digunakan karena memiliki keseimbangan yang baik antara ketelitian hasil dan manfaat praktisnya. Selang ini cukup sempit untuk memberikan estimasi yang informatif, namun menghasilkan tingkat keyakinan yang tinggi dengan risiko kesalahan hanya sebesar 5% (Kurniawan & Budiawan, 2016). Selang kepercayaan 95% mampu mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan tanpa mengubah presisinya secara signifikan.

Selang kepercayaan 90% cenderung lebih sempit, sehingga lebih presisi. Namun, selang kepercayaan ini memiliki risiko kesalahan yang lebih tinggi, yaitu sebesar 10% (Hazra, 2017). Selang kepercayaan 99% sebenarnya memberikan risiko kesalahan yang sangat rendah yaitu hanya sebesar 1% dan sesuai untuk digunakan pada situasi dengan konsekuensi kesalahan yang sangat serius. Namun, selang kepercayaan yang dihasilkan menjadi sangat lebar, sehingga mengurangi kegunaannya dalam pengambilan keputusan yang membutuhkan ketepatan, memberikan gambaran yang terlalu luas, dan parameter menjadi kurang informatif (Elsayir, 2024).

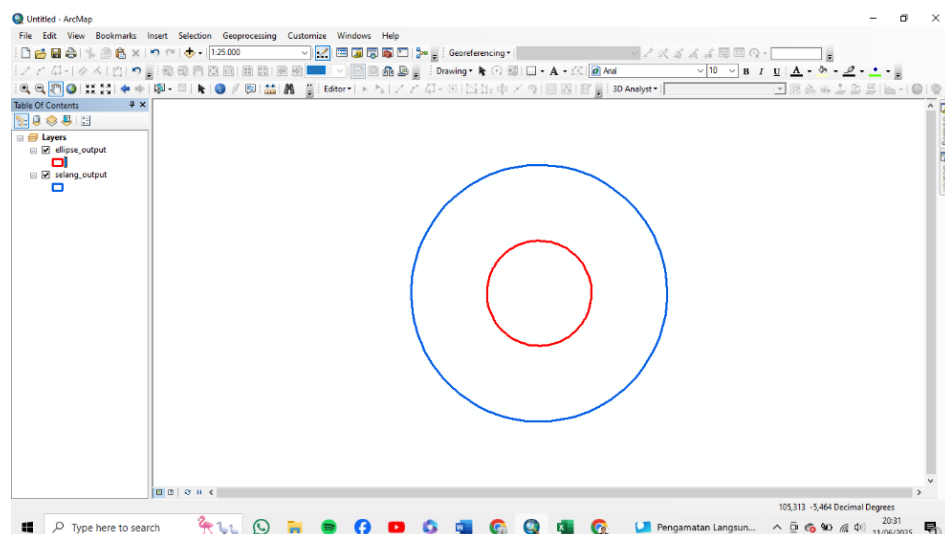
Selang kepercayaan 95% merupakan pilihan yang tepat karena memberikan keseimbangan yang optimal antara lebar selang dan tingkat keyakinan. Selang kepercayaan ini cukup sempit untuk menghasilkan estimasi yang informatif dan memiliki tingkat keyakinan yang tinggi untuk meminimalisir terjadinya kesalahan. Perhitungan selang kepercayaan dilakukan dengan mengalikan sumbu panjang dan sumbu pendek dari *Ellips* Kesalahan dengan faktor skala tertentu pada tingkat kepercayaan 95% agar area dalam *ellips* mencakup 95% kemungkinan lokasi kecelakaan. Selanjutnya, bentuk dan ukuran *ellips* digambarkan untuk merepresentasikan area, namun sudut rotasi *ellips* tetap tidak berubah.

Tabel 21. Selang Kepercayaan

Nilai <i>Ellips</i> Kesalahan	Selang Kepercayaan 95%
$\theta_p = 134,5^\circ$	$\theta = 134,5^\circ$
$\sigma u = 999,97$	$\sigma u = 999,97 \times 2,447 = 2.446,92659$
$\sigma v = 999,99$	$\sigma v = 999,99 \times 2,447 = 2.445,97553$

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

Pada *Ellips* Kesalahan, variabel x dan y berkorelasi positif yang dibuktikan dengan arah miring *Ellips* ke arah kiri. Gambar 11 adalah selang kepercayaan *Ellips* Kesalahan untuk kejadian kecelakaan lalu lintas dari tahun 2019 sampai tahun 2023.



Gambar 11. Selang Kepercayaan ditunjukkan dengan Warna Biru

3. Klasifikasi dengan Z-Score

Z-Score (*standard score*) merupakan ukuran statistik yang menunjukkan seberapa jauh suatu nilai dari rata-rata populasi dalam satuan standar deviasi. *Z-Score* mengukur posisi relatif suatu data dalam distribusi, baik di atas maupun di bawah rata-rata. Proses klasifikasi dengan menggunakan *Z-Score* adalah sebagai berikut.

1. Langkah pertama yaitu menentukan jumlah korban kecelakaan (X) dari setiap *cluster*.

Tabel 22. Jumlah Kejadian Kecelakaan Lalu Lintas

<i>Z-Score</i>	
Nama	Jumlah Kejadian Kecelakaan
<i>Cluster 1</i>	9
<i>Cluster 2</i>	32
<i>Cluster 3</i>	14
<i>Ellips</i>	14

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

2. Selanjutnya dilakukan perhitungan rata-rata (μ) jumlah kejadian kecelakaan lalu lintas pada *cluster* yang terbentuk. Hasil perhitungan didapatkan rata-rata sebesar 17,25.
3. Kemudian dilakukan perhitungan *standar deviasi* (σ) dan didapatkan hasil *standar deviasi* yaitu sebesar 8,757.
4. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *Z-score* dengan rumus berikut:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \dots\dots\dots (46)$$

Tabel 23. Nilai *Z-Score*

<i>Z-Score</i>		
Nama	Z-Score	Kategori
<i>Cluster 1</i>	-0,942988405	Tidak Rawan Kecelakaan
<i>Cluster 2</i>	1,684339875	Rawan Kecelakaan
<i>Cluster 3</i>	-0,371125735	Tidak Rawan Kecelakaan
<i>Ellips</i>	-0,371125735	Tidak Rawan Kecelakaan

Sumber: (Analisis Penulis, 2025)

V. PENUTUP

5.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, simpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

1. Metode *K-means Cluster Analysis* untuk menentukan daerah rawan kecelakaan lalu lintas dilakukan dengan melihat jarak terdekat antara titik pusat *cluster* dengan data kecelakaan lalu lintas yang menghasilkan 3 *cluster* yaitu *Cluster* 1 (C1) dikategorikan daerah tidak rawan kecelakaan, *Cluster* 2 (C2) dikategorikan daerah rawan kecelakaan, dan *Cluster* 3 (C3) dikategorikan daerah tidak rawan kecelakaan. Anggota C1 mencakup segmen 1 sampai segmen 6. Anggota C2 mencakup segmen 7 sampai segmen 11. Anggota C3 mencakup segmen 13 sampai segmen 17.
2. Metode *Ellips Kesalahan* untuk menentukan distribusi rawan kecelakaan lalu lintas dilakukan dengan melihat luas *ellips* yang terbentuk yaitu 3,14 km² dengan titik pusat berada di segmen 10. Hasil ini didapatkan setelah melakukan 3 kali iterasi. Berdasarkan luas *ellips*, kejadian kecelakaan terkonsentrasi antara segmen 7 sampai segmen 12.
3. Metode *K-means Cluster Analysis* lebih efektif dalam mengelompokkan titik kecelakaan berdasarkan jarak terdekat dari data menuju titik pusat *cluster*, sedangkan metode *Ellips Kesalahan* memberikan gambaran cakupan areal dengan tingkat risiko kecelakaan tertinggi. Kombinasi kedua metode ini dapat memberikan hasil yang akurat karena metode *K-means Cluster Analysis* dapat digunakan untuk mengidentifikasi kelompok kecelakaan lalu lintas berdasarkan karakteristik tertentu, sedangkan metode *Ellips Kesalahan* dapat memperkirakan areal dengan tingkat kecelakaan lalu lintas paling tinggi.

5.2. Saran

Saran dari penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Metode *K-means Cluster Analysis* memberikan gambaran secara menyeluruh mengenai keadaan masing-masing *cluster*, sehingga disarankan untuk menggunakan metode ini sebagai dasar utama dalam menentukan daerah rawan kecelakaan lalu lintas.
2. Metode *Ellips Kesalahan* digunakan sebagai metode pendukung untuk mengidentifikasi konsentrasi kecelakaan lalu lintas dalam suatu *cluster* tertentu, sehingga disarankan untuk mengombinasikan antara metode *K-means Cluster Analysis* dan metode *Ellips Kesalahan* untuk memberikan informasi yang lebih komprehensif dalam menentukan daerah rawan kecelakaan lalu lintas.
3. Titik rawan kecelakaan terkonsentrasi pada segmen-segmen tertentu, sehingga pemerintah daerah dan instansi terkait seharusnya perlu melakukan peningkatan infrastruktur, seperti pemasangan rambu lalu lintas, penerangan jalan yang memadai, serta perbaikan kondisi jalan pada segmen-segmen yang termasuk ke dalam konsentrasi daerah rawan kecelakaan tinggi.
4. Analisis metode *Ellips Kesalahan* dapat digunakan sebagai tambahan dalam setiap *cluster* hasil *K-means Cluster Analysis*. Melalui pendekatan ini, setiap *cluster* tidak hanya ditentukan berdasarkan pusat dan anggotanya, tetapi juga dianalisis bentuk serta sebarannya menggunakan *Ellips Kesalahan*. Metode ini dapat memberikan informasi lebih mendalam mengenai distribusi data dalam *cluster*, memungkinkan identifikasi pola yang lebih kompleks, serta menentukan batas ketidakpastian atau tingkat risiko di daerah rawan kecelakaan. Kombinasi metode *K-means Cluster Analysis* dan metode *Ellips Kesalahan* dapat meningkatkan akurasi dalam pemetaan daerah rawan kecelakaan lalu lintas.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusta, Y. 2007. K-means-Penerapan, Permasalahan, dan Metode Terkait. *Jurnal Sistem dan Informatika*, 3(2), 47–60.
- Armijon. 2020. *Modul Mata Kuliah Kuadrat Terkecil dan Hitung Perataan untuk Jurusan Teknik Geodesi & Geomatika*. Bandar Lampung: Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Aulia, M. D. 2022. Analisis Daerah Rawan Kecelakaan di Jalan Kolektor Primer Kabupaten Sukabumi. *Civil Engineering Research Journal*, 3(1), 22–28.
- Auliya, M., Armijon, dan Murdapa, F. 2023. Kajian Wilayah Potensi Penyebaran Covid-19. *Datum*, 3(1), 22–26.
- Elsayir, H.A. 2024. The Role Of Confidence Level In Clinical Significance Test. *Journal Of Jilin University (Engineering And Technology Edition)*, 43(11), 205-215.
- Fan, H. 2010. *Theory of Errors and Least Squares Adjustment*. Royal Institute of Technology (KTH). Stockholm. 226 hlm.
- Hatrik, H. dan Vatesia, A. 2022. Analisa *Clustering* Tingkat Rawan Kecelakaan dengan *Fuzzy C-Means*. *Journal Scientific and Applied Informatics*, 5(1), 28-35.
- Hazra, A. 2017. Using The Confidence Interval Confidently. *Journal of Thoracic Disease*, 9(10), 4125-4130.
- Kluwer, W. 2022. Are You Confident About Your Confidence In Confidence Intervals?. *Cancer Research, Statistics, and Treatment*, 5(1) 139-144.
- Kurniawan, H., dan Budiawan, W. (2016). Analisa Produktivitas Pekerja dengan Metode Sampling Kerja pada *Bagging Section* PT. Chandra Asri Petrochemical Tbk. *Industrial Engineering Online Journal*, 5(1), 1-4.
- Latifah, L. L., Hudjimartsu, S. A., dan Yanuarsyah, I. 2022. Analisis Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas Menggunakan *Cluster Analysis* di Kota Bogor Berbasis *Webgis*. *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, 8(2), 235-244.
- Noviyanti. 2012. Identifikasi Kecelakaan pada Lokasi *Black Spot* di Bandar Lampung. *Warna Penelitian Hubungan*, 24(4), 391-411.

- Pradipta, A. D. R., Awaluddin, M., dan Nugraha, A. L. 2018. Pemetaan Daerah Rawan Kecelakaan di Kota Semarang dengan Menggunakan Metode *Cluster Analysis* (Studi Kasus: Kecamatan Banyumanik dan Tembalang). *Jurnal Geodesi Undip*, 7(7), 185–194.
- Shoolihah, A., Furqon, M. T., dan Widodo, A. W. 2017. Implementasi Metode *Improved K-Means* untuk Mengelompokkan Titik Panas Bumi. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 1(11), 1270–1276.
- Surbakti, C., Sudarsono, B., dan Wahyuddin, Y. 2021. Implementasi Metode *Cluster Analysis* dalam Analisis Daerah Rawan Kecelakaan di Kecamatan Semarang Utara. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(3), 1–10.
- Vernanda, A. A., Faisol, A., dan Vendyansyah, N. 2021. Penerapan Metode *K-means Clustering* untuk Pemetaan Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas di Kota Malang Berbasis *Website*. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 5(2), 836-844.
- Wedagama, D. P. 2010. Metode Elipsoida Kesalahan Sebagai Metode Alternatif untuk Analisis Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu Lintas. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 14(1), 1–9.
- Wierzchoń, S. T. and Kłopotek, M. A. 2015. *Algorithms of Cluster Analysis*. Institute of Computer Science Polish Academy of Sciences. Warsaw. 305 hlm.