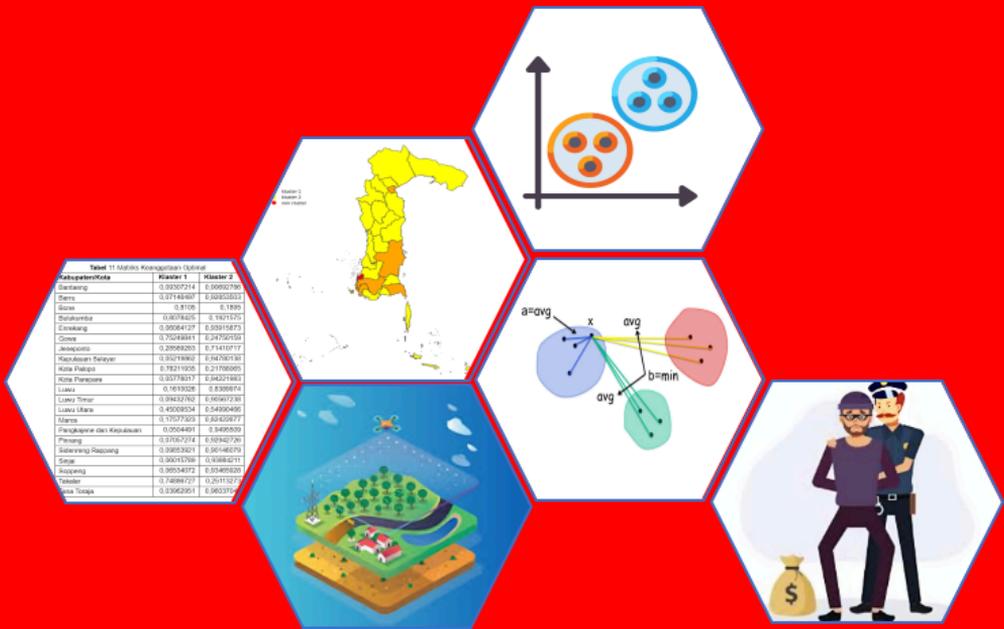


Penerapan *Gravitational Search Algorithm* pada *Fuzzy Geographically Weighted Clustering* dengan Evaluasi *Silhouette Coefficient* untuk Analisis Kriminalitas di Sulawesi Selatan



Rofino Dino Valentino
H051191050



PROGRAM STUDI STATISTIKA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024

Penerapan *Gravitational Search Algorithm* pada *Fuzzy Geographically Weighted Clustering* dengan Evaluasi *Silhouette Coefficient* untuk Analisis Kriminalitas di Sulawesi Selatan

**Rofino Dino Valentino
H051191050**



**PROGRAM STUDI STATISTIKA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

Penerapan *Gravitational Search Algorithm* pada *Fuzzy Geographically Weighted Clustering* dengan Evaluasi *Silhouette Coefficient* untuk Analisis Kriminalitas di Sulawesi Selatan

Rofino Dino Valentino
H051191050

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Statistika

UNIVERSITAS HASANUDDIN
Program Studi Statistika

pada

**PROGRAM STUDI STATISTIKA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

Skripsi**Penerapan *Gravitational Search Algorithm* pada *Fuzzy Geographically Weighted Clustering* dengan Evaluasi *Silhouette Coefficient* untuk Analisis Kriminalitas di Sulawesi Selatan**

yang disusun dan diajukan oleh

Rofino Dino Valentino
H051191050

Skripsi,

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Statistika pada dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

PROGRAM STUDI STATISTIKA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR

Mengesahkan:
Pembimbing Utama,



Siswanto, S.Si., M.Si.
NIP. 199201072019031012

Mengetahui
Pembimbing Pertama,



Dra. Nasrah Sirajang, M.Si.
NIP.196505191993032002



Mengetahui
Ketua Program Studi

Dr. Agnes Islamiyati, S.Si., M.Si.
NIP. 197708082005012002

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "PENERAPAN *GRAVITATIONAL SEARCH ALGORITHM* PADA *FUZZY GEOGRAPHICALLY WEIGHTED CLUSTERING* DENGAN EVALUASI *SILHOUETTE COEFFICIENT* UNTUK ANALISIS KRIMINALITAS DI SULAWESI SELATAN" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing skripsi saya (Siswanto, S.Si., M.Si.). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 7 Agustus 2024



KORINO DINO Valentino
NIM H051191050

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah Shallallahu 'Alaihi Wa sallam, yang telah membawa kita dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang benderang. Alhamdulillahirobbil'aalamiin, berkat rahmat dan kemudahan yang diberikan oleh Allah Subhanahu Wa Ta'ala, penelitian ini dapat terlaksana dan terselesaikan atas bimbingan, diskusi, dan arahan dari Bapak **Siswanto, S.Si., M.Si.** selaku pembimbing utama yang dengan penuh kesabaran telah meluangkan waktu dan pemikirannya. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Ibu **Dra. Nasrah Sirajang, M.Si.** selaku pembimbing pertama dan penasehat akademik, atas bimbingan dan arahan yang sangat berharga selama penulisan skripsi ini. Terima kasih juga kepada Ibu **Prof. Dr. Dr. Georgina Maria Tinungki, M.Si.** dan Ibu **Sri Astuti Thamrin, S.Si., M.Stat., Ph.D.** selaku penguji, atas saran, kritikan, dan waktu yang telah diberikan kepada penulis. Terima kasih juga kepada pimpinan Universitas Hasanuddin, Ketua Departemen Statistika, para dosen, dan staff yang telah memberikan ilmu dan fasilitas kepada penulis.

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua tercinta, Ayahanda **Timbul Hari Subekti** dan Ibunda **Suswati**, serta dua adik saya, **Nabil** dan **Nabel**, yang selalu memberikan dukungan moral, doa, dan kasih sayang yang tiada henti. Tanpa dukungan kalian, penulis tidak akan mampu menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

Tak lupa, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada teman-teman penulis, **Daus, Ferdi, Syamsul, Agus, Rayhan**, serta teman-teman **STATISTIKA 2019** lainnya yang selalu memberikan semangat, bantuan, dan kebersamaan yang sangat berarti selama proses penelitian ini. Terima kasih atas semua kenangan dan dukungan yang telah kalian berikan. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada pasangan saya, Mahasiswa Teknik Informatika dengan NIM D121201107 yang bernama **Atira Septiara**, yang telah memberikan dukungan, masakan dan kasih sayang yang luar biasa. Semoga Allah membalas semua kebaikan kalian dengan pahala yang berlipat ganda.

Makassar, 7 Agustus 2024



Rofino Dino Valentino

ABSTRAK

ROFINO DINO VALENTINO. **PENERAPAN *GRAVITATIONAL SEARCH ALGORITHM* PADA *FUZZY GEOGRAPHICALLY WEIGHTED CLUSTERING* DENGAN EVALUASI *SILHOUETTE COEFFICIENT* UNTUK ANALISIS KRIMINALITAS DI SULAWESI SELATAN** (dibimbing oleh Siswanto)

Latar Belakang. Analisis kluster adalah metode untuk mengelompokkan objek berdasarkan karakteristik tertentu. Salah satu metode analisis kluster adalah *Fuzzy Geographically Weighted Clustering*, yang diterapkan khusus pada data spasial. Penggunaan *Gravitational Search Algorithm* bertujuan untuk mengatasi kelemahan pada model, yaitu masalah lokal optima. Untuk menentukan jumlah kluster optimal, digunakan teknik *silhouette coefficient*. Penelitian ini berfokus pada analisis kasus kriminalitas yang meningkat di Sulawesi Selatan kriminalitas di Sulawesi Selatan yang terus meningkat. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil pengelompokan jenis kriminalitas yang ada di Sulawesi Selatan menggunakan *Fuzzy Geographically Weighted Clustering* dengan optimasi *Gravitational Search Algorithm* dan jumlah kluster optimal yang ditunjukkan oleh uji indeks validitas menggunakan *silhouette coefficient*. **Metode.** Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dari Statistik Politik dan Keamanan Provinsi Sulawesi Selatan 2022 yang diterbitkan oleh BPS Sulawesi Selatan. **Hasil.** Pengelompokan kriminalitas di Sulawesi Selatan menghasilkan dua kluster, dengan Klaster 1 mencakup wilayah kriminalitas tinggi dan Klaster 2 wilayah kriminalitas rendah. Evaluasi dengan *silhouette coefficient* pada kluster berjumlah dua menunjukkan nilai optimal sebesar 0,8529 mengindikasikan pengelompokan memiliki struktur kuat. **Kesimpulan.** Berdasarkan hasil yang didapat, pengelompokan 5 kabupaten/kota ke dalam Klaster 1 dan 18 kabupaten/kota lainnya ke dalam Klaster 2, kemudian hasil *silhouette coefficient* menunjukkan jumlah kluster optimal adalah dua.

Kata Kunci: *Fuzzy Geographically Weighted Clustering*, *Gravitational Search Algorithm*, Kriminalitas, *Silhouette Coefficient*, Sulawesi Selatan.

ABSTRACT

ROFINO DINO VALENTINO. **APPLICATION OF GRAVITATIONAL SEARCH ALGORITHM IN FUZZY GEOGRAPHICALLY WEIGHTED CLUSTERING WITH SILHOUETTE COEFFICIENT EVALUATION FOR CRIME ANALYSIS IN SOUTH SULAWESI** (supervised by Siswanto)

Background. Cluster analysis is a method used to group objects based on specific characteristics. One such method is Fuzzy Geographically Weighted Clustering, which is specifically applied to spatial data. The use of the Gravitational Search Algorithm aims to address the model's weakness, namely the local optima problem. The silhouette coefficient technique is employed to determine the optimal number of clusters. This study focuses on analyzing the increasing crime rates in South Sulawesi. **Objective.** This study aims to classify crime types in South Sulawesi using Fuzzy Geographically Weighted Clustering optimized with the Gravitational Search Algorithm and to determine the optimal number of clusters as indicated by the silhouette coefficient validity index. **Method.** The data used in this study is secondary data from the 2022 Political and Security Statistics of South Sulawesi Province, published by BPS South Sulawesi. **Results.** The crime clustering in South Sulawesi resulted in two clusters: Cluster 1 includes high-crime areas, and Cluster 2 encompasses low-crime areas. The silhouette coefficient evaluation for two clusters yielded an optimal value of 0.8529, indicating a strong clustering structure. **Conclusion.** The results show that five regencies/cities fall into Cluster 1, while the remaining 18 regencies/cities are classified into Cluster 2. The silhouette coefficient results confirm that the optimal number of clusters is two.

Keywords: Crime, Fuzzy Geographically Weighted Clustering, Gravitational Search Algorithm, Silhouette Coefficient, South Sulawesi.

DAFTAR ISTILAH

Istilah	Arti dan Penjelasan
<i>Acceleration</i>	Percepatan yang dihasilkan oleh gaya yang bekerja pada suatu massa dalam fisika atau algoritma.
Agen	Entitas dalam algoritma yang memiliki sifat dan perilaku tertentu untuk mencapai tujuan tertentu.
<i>C-Means</i>	Salah satu metode clustering yang membagi data ke dalam sejumlah kluster berdasarkan kesamaan.
<i>Euclidean Distance</i>	Jarak lurus antara dua titik dalam ruang <i>Euclidean</i> yang digunakan untuk mengukur kesamaan data.
<i>Fitness</i>	Ukuran yang menunjukkan seberapa baik solusi atau individu dalam algoritma optimasi.
<i>Force</i>	Gaya yang mempengaruhi gerakan atau perubahan keadaan suatu objek dalam fisika atau algoritma.
<i>Fuzzy</i>	Konsep matematika yang memungkinkan suatu nilai berada dalam rentang tertentu, bukan absolut.
<i>Fuzziness</i>	Derajat ketidakpastian atau keanggotaan suatu elemen dalam satu atau lebih himpunan <i>fuzzy</i> .
Geodemografi	Studi tentang karakteristik demografis dan geografi penduduk dalam suatu wilayah.
Geografi	Ilmu yang mempelajari tentang tempat dan hubungan antara manusia dan lingkungannya.
Geospasial	Data atau informasi yang berhubungan dengan lokasi geografis di permukaan bumi.
Gravitasi	Gaya tarik menarik antara dua massa atau partikel.
Integrasi	Penggabungan berbagai elemen atau sistem menjadi satu kesatuan yang berfungsi secara efektif.
Iterasi	Proses pengulangan dalam algoritma atau perhitungan untuk mendekati hasil yang diinginkan.
Kluster	Kelompok data yang memiliki kesamaan tertentu dalam analisis data.
Konstanta	Nilai tetap yang tidak berubah dalam perhitungan atau algoritma.
Kriminologi	Ilmu yang mempelajari tentang kejahatan, penyebab, dan cara penanggulangannya.
<i>Mass</i>	Massa atau kuantitas materi yang dimiliki oleh suatu objek.
<i>Max</i>	Nilai maksimum dalam suatu himpunan data atau fungsi.
<i>Mean</i>	Nilai rata-rata dari suatu himpunan data.
<i>Min</i>	Nilai minimum dalam suatu himpunan data atau fungsi.
Optimum Lokal	Titik solusi terbaik dalam ruang solusi yang terbatas oleh kondisi tertentu dalam algoritma optimasi.

Istilah	Arti dan Penjelasan
<i>Outlier</i>	Data atau nilai yang jauh berbeda dari mayoritas data dalam himpunan data.
Spasial	Berkaitan dengan ruang atau lokasi di permukaan bumi.
Standar Deviasi	Ukuran yang menunjukkan sebaran atau variasi data dalam himpunan data.
<i>Threshold</i>	Batas ambang yang menentukan apakah suatu nilai memenuhi kriteria tertentu.
<i>Velocity</i>	Kecepatan atau laju perubahan posisi suatu objek dalam fisika atau algoritma.

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

LAMBANG/SINGKATAN	Arti dan Penjelasan
$[A]$	Banyaknya data dalam klaster A
i, j	Indeks dari objek
$d(i, j)$	Jarak antara atribut i dengan atribut j
$b(i)$	Nilai yang diambil dari rata-rata jarak objek i dengan semua objek pada klaster lain C dengan $A \neq C$
s_i	<i>Silhouette Coefficient</i> untuk objek i,
d	Jarak
x_1	Koordinat <i>latitude</i> 1
x_2	Koordinat <i>latitude</i> 2
y_1	Koordinat <i>longitude</i> 1
y_2	Koordinat <i>longitude</i> 2
μ_i'	Nilai keanggotaan baru dari objek i
μ_i	Nilai keanggotaan lama dari objek i
$w_{\{i,j\}}$	Ukuran penimbang sejumlah interaksi antar wilayah
A	Nilai untuk memastikan nilai penimbang tidak lebih dari 1
m_i	Jumlah populasi dari wilayah i
m_j	Jumlah populasi dari wilayah j
$d_{\{i,j\}}$	Jarak antara wilayah i dan wilayah j
n	Jumlah data
$v_{\{i,j\}}$	Pusat klaster ke-i dan pada variabel ke-j
x_k	Vektor data ke-k
$u_{\{i,j,k\}}$	Tingkat keanggotaan data pada x_k klaster i dan pada variabel ke-j
m	<i>Fuzziness</i> , parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kesamaran pada hasil klaster, $m > 1$
$U\{i, k\}$	Matriks keanggotaan
$v_i - x_k$	Jarak antara pusat klaster i dan data x_k
$v_j - x_k$	Jarak antara pusat klaster j dan x_k
c	Jumlah klaster

LAMBANG/SINGKATAN	Arti dan Penjelasan
U	Matriks keanggotaan
V	Matriks untuk pusat kluster
X	Matriks untuk data
$u_{\{ik\}}$	Elemen matriks keanggotaan
$F_{\{i,j,d\}}$	Total gaya yang bekerja pada setiap agen
$G(t)$	Gravitasi pada iterasi t
M_i	Massa dari agen i
$R_{\{i,j\}}(t)$	Jarak <i>Euclidean</i> antara dua agen
$M_i(t)$	Massa agen i pada iterasi t
$fit_i(t)$	Nilai <i>fitness</i> dari solusi
$best(t)$	Nilai <i>fitness</i> terbaik pada iterasi t
$worst(t)$	Nilai <i>fitness</i> terburuk pada iterasi t
a	Percepatan agen
v	Kecepatan agen
$v_{\{i,d\}}(t + 1)$	Kecepatan agen pada iterasi t+1
FGWC	<i>Fuzzy Geographically Weighted Clustering</i>
GSA	<i>Gravitational Search Algorithm</i>
FGWC-GSA	<i>Fuzzy Geographically Weighted Clustering with Gravitational Search Algorithm</i>
SC	<i>Silhouette Coefficient</i>
FCM	<i>Fuzzy C-Means</i>
KDRT	Kekerasan Dalam Rumah Tangga
KUHP	Kitab Undang-Undang Hukum Pidana

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISTILAH	viii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Batasan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Teori.....	3
1.5.1 Analisis Kluster.....	3
1.5.2 Evaluasi Z-Score.....	4
1.5.3 <i>Silhouette Coefficient</i>	4
1.5.4 <i>Fuzzy C-Means</i>	5
1.5.5 <i>Fuzzy Geographically Weighted Clustering</i>	6
1.5.6 <i>Gravitational Search Algorithm</i>	8
1.5.7 Kriminalitas.....	9
BAB II METODE PENELITIAN	11
2.1 Data.....	11
2.2 Metode Analisis.....	11
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	13
3.1 Statistika Deskriptif.....	13
3.2 Evaluasi Z-score.....	13
3.3 Penentuan Parameter Awal.....	14
3.4 Proses FGWC-GSA.....	15
3.4.1 Penentuan Inisialisasi Matriks Keanggotaan.....	15
3.4.2 Perhitungan Pembobot Geografis.....	16
3.4.3 Pembobotan Geografis Pada Matriks Keanggotaan.....	17
3.4.4 Perhitungan Pusat Kluster.....	17
3.4.5 Perhitungan Nilai Jarak Data Yang Diperbarui.....	18

3.4.6 Perhitungan Nilai Fungsi Objektif.....	19
3.4.7 Penentuan Nilai <i>Best</i> dan <i>Worst</i>	19
3.4.8 Penentuan Nilai <i>mass</i> dan <i>Mass</i>	20
3.4.9 Perhitungan Nilai Gravitasi.....	21
3.4.10 Perhitungan Nilai <i>Force</i>	22
3.4.11 Perhitungan Nilai <i>Acceleration</i>	22
3.4.12 Perhitungan Nilai <i>Velocity</i>	23
3.4.13 Pembaruan Nilai Matriks Keanggotaan.....	23
3.4.14 Pembobotan Ulang Matriks Keanggotaan.....	24
3.4.15 Pemberian Pengaruh <i>Velocity</i>	24
3.4.16 Pemberhentian Iterasi.....	25
3.5 Evaluasi <i>Silhouette Coefficient</i>	26
3.6 Evaluasi Hasil Klustering.....	27
BAB IV KESIMPULAN.....	31
4.1 Kesimpulan.....	31
4.2 Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA.....	32
LAMPIRAN.....	34

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kriteria Nilai <i>Silhouette Coefficient</i>	5
2. Variabel Data.....	11
3. Statistika Deskriptif Data Kriminalitas.....	13
4. Parameter Awal.....	14
5. Penentuan <i>Fuzziness</i>	14
6. Penentuan Beta.....	14
7. Matriks Keanggotaan Awal.....	15
8. Nilai <i>Best</i> dan <i>Worst</i>	19
9. Nilai <i>mass</i> Iterasi 11.....	20
10. Nilai <i>Mass</i> Iterasi 1.....	21
11. Matriks Keanggotaan Optimal.....	25
12. Hasil <i>Silhouette Coefficient</i>	27
13. Hasil Klaster Kriminalitas Sulawesi Selatan.....	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Pengelompokan Kriminalitas Sulawesi Selatan.....	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data Kriminalitas Provinsi Sulawesi Selatan Tahun 2022.....	35
2. Evaluasi <i>Z-score</i>	36
3. Matriks Jarak Data.....	37
4. Matriks Pembobot Geografis.....	38
5. Hasil Pembobotan Matriks Keanggotaan.....	39
6. Pusat Klaster Iterasi Awal.....	40
7. Jarak Data Terbaru.....	41
8. Nilai <i>force</i>	42
9. Nilai <i>Force</i>	43
10. Nilai <i>Acceleration</i>	44
11. Nilai <i>Velocity</i>	45
12. Matriks Keanggotaan Yang Diperbarui.....	46
13. Hasil Pembobotan Kembali Matriks Keanggotaan.....	47
14. Matriks Keanggotaan Dengan Pengaruh <i>Velocity</i>	48
15. Hasil <i>Silhouette Coefficient</i> Tahap $a(i)$, $b(i)$ dan $s(i)$	49

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Analisis kluster merupakan metode yang digunakan untuk mengelompokkan sejumlah objek berdasarkan karakteristik tertentu ke dalam kelompok-kelompok yang lebih besar dengan tujuan utama untuk mengidentifikasi dan menentukan kelompok pada kumpulan objek yang diamati (Johnson & Wichern, 2007). Pendekatan ini memungkinkan pengelompokan yang sistematis dan memberikan wawasan mendalam tentang keterhubungan antara objek-objek dalam kelompok-kelompok tersebut (Hennig, 2015). Salah satu metode yang digunakan dalam analisis kluster adalah Fuzzy C-Means (FCM), yang menentukan keberadaan setiap titik data dalam suatu kluster dengan mempertimbangkan derajat keanggotaannya. Metode ini menggunakan pendekatan pengelompokan fuzzy dengan memperhitungkan indeks validitas menggunakan *euclidean distance*, yang menghasilkan derajat keanggotaan untuk setiap titik data dalam setiap kelompok yang terbentuk, memungkinkan setiap objek memiliki peluang menjadi anggota dari semua kelompok yang terbentuk dengan derajat keanggotaan yang berbeda-beda antara 0 hingga 1 (Jaya dkk., 2014).

Salah pengembangan metode *Fuzzy C-Means* adalah melalui penerapan analisis *Fuzzy Geographically Weighted Clustering* (FGWC), yang merupakan suatu teknik pengelompokan yang dapat digunakan pada data spasial. Teknik ini merupakan peningkatan dari *Fuzzy C-Means* (FCM), di mana pengaruh lokasi dalam FGWC telah diakomodasi melalui perhitungan nilai keanggotaannya. FGWC mengelompokkan data spasial dengan mempertimbangkan jarak geografis antara titik data dan karakteristik data. FGWC memberikan alternatif solusi dari algoritma pengelompokan biasa yang lebih responsif terhadap geografi dengan kemampuan untuk memasukkan efek populasi dan jarak ke dalam analisis pengelompokan geodemografi. Dalam metode ini, setiap titik data diberi bobot spasial berdasarkan kedekatan dengan titik referensi, sehingga memungkinkan penekanan lebih besar pada titik data yang memiliki dampak signifikan dalam pengelompokan di sekitarnya (Jacobson dkk., 2007). Secara umum, metode FGWC tidak memiliki standar tertentu untuk menentukan jumlah kluster yang akan dibentuk. Penentuan jumlah kluster saat ini sering kali hanya menggunakan 2 kluster, yaitu tinggi dan rendah, atau 3 kluster, yaitu tinggi, normal, dan rendah. Maka dari itu diperlukan teknik analisis yang digunakan untuk menentukan jumlah kluster optimal.

Gravitational Search Algorithm (GSA) merupakan sebuah pendekatan optimisasi yang terinspirasi dari hukum gerakan dan gravitasi Newton, yang memanfaatkan konsep interaksi massa antar-agen untuk menemukan solusi optimal dalam berbagai masalah optimasi. GSA memiliki keunggulan dalam menghindari jebakan optimum lokal, menjadikannya alat yang berguna dalam

konteks algoritma *fuzzy clustering* pada data spasial. Melalui proses integrasi dengan metode FGWC, yang secara tradisional memperhitungkan faktor geografis untuk mempengaruhi nilai keanggotaan dalam proses *fuzzy clustering*, FGWC-GSA menghasilkan penggabungan yang kuat. Dengan GSA, posisi dari titik data atau agen disesuaikan berdasarkan massa dan gaya antar-agen, sehingga meningkatkan kemampuan untuk menemukan solusi yang berkualitas. Hasilnya, integrasi ini memastikan pengelompokan yang lebih akurat dan bermakna, khususnya dalam konteks analisis data geospasial yang memerlukan perhatian khusus terhadap aspek spasial dan kontekstual.

Teknik analisis yang dapat digunakan untuk memaksimalkan metode FGWC-GSA dalam membentuk atau menentukan jumlah kluster adalah *silhouette coefficient*. Keunggulan dari *silhouette coefficient* termasuk mengevaluasi dan memvalidasi kualitas pengelompokan dengan menguji sejauh mana jarak antar kluster dan seberapa padat kluster tersebut, mengukur seberapa dekat atau jauh hubungan antara objek terpisah dan kluster lainnya, menghitung nilai objek yang berada dalam sebuah kluster. Dengan *silhouette coefficient* ini, FCM dapat memiliki nilai untuk mengevaluasi jumlah kluster yang akan dibentuk nantinya. Nilai *silhouette coefficient* tertinggi dapat digunakan untuk pengelompokan. *Silhouette coefficient* dengan jarak *euclidean* akan digunakan sebagai solusi untuk menentukan nilai jarak ke *centroid* yang lebih baik dalam iterasi (Mantik dkk., 2022). *Silhouette coefficient* dipilih karena memiliki kemampuan untuk mengevaluasi nilai jumlah kluster yang akan dibentuk nantinya (Mashfufah dkk., 2021).

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang telah menerapkan metode FGWC-GSA dalam konteks analisis berbeda. Mashfufah dan kawan-kawan pada 2021 menggunakan FGWC untuk mengelompokkan provinsi Jawa Tengah berdasarkan pada kasus penyandang masalah kesejahteraan tahun 2017, Studi ini mengelompokkan wilayah Jawa Tengah menjadi dua cluster. Sementara itu, penelitian yang menyangkut *silhouette coefficient* pernah dilakukan oleh Hidayati dan kawan-kawan pada 2018. Penelitian ini menguji performa beberapa perhitungan jarak pada *k-means clustering* menggunakan *silhouette coefficient*. Hasilnya menunjukkan bahwa beberapa jenis perhitungan jarak memiliki performa yang stabil. Penelitian-penelitian diatas membuktikan bahwa metode FGWC dan *silhouette coefficient* dapat digunakan pada analisis kluster. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan analisis lainnya dengan kasus kriminalitas.

Kriminalitas adalah perilaku melanggar hukum dan norma yang berdampak buruk pada masyarakat. Kriminalitas terjadi secara individu maupun kelompok, berpotensi mengancam keamanan dan kebebasan individu serta mempengaruhi citra suatu daerah. Data dari Kepolisian Daerah Sulawesi Selatan menunjukkan peningkatan sebesar 12,68 persen dalam kasus tindak pidana umum di tahun 2021 dibandingkan tahun sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian ini memusatkan perhatian pada pemodelan FGWC dengan *silhouette coefficient* pada kasus kriminalitas di Sulawesi Selatan. Dengan adanya

penelitian ini, diharapkan dapat menjadi acuan bagi pemerintah maupun masyarakat untuk mengatasi angka kriminalitas yang tinggi.

1.2 Batasan Masalah

Berikut adalah batasan masalah yang ada pada penelitian ini:

1. Penentuan parameter dan jumlah klaster yang digunakan berdasarkan pada hasil optimal uji indeks validitas *silhouette coefficient*.
2. Matriks pembobot spasial didasarkan pada jarak antar titik data menggunakan metode *euclidean distance*.
3. Kedudukan kota madya pada penelitian ini disetarakan dengan kota dan kabupaten lainnya.
4. Efek populasi dan efek jarak pada penentuan pembobot geografis memiliki kepentingan yang setara.
5. Penentuan outlier data didasarkan pada nilai standar baku (*z-score*).

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan penelitian yang ingin dicapai pada penelitian ini:

1. Mendapatkan hasil pengelompokan jenis kriminalitas yang ada di Sulawesi Selatan menggunakan FGWC-GSA.
2. Mendapatkan jumlah klaster optimal yang ditunjukkan oleh uji indeks validitas menggunakan *silhouette coefficient*.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini:

1. Memahami penerapan FGWC-GSA pada kasus kriminalitas di Sulawesi Selatan, dengan potensi untuk meningkatkan kesadaran masyarakat serta mendukung perancangan strategi penanggulangan kriminalitas yang lebih efektif oleh pihak keamanan dan pemerintah.
2. Sebagai bentuk kontribusi pada sumber informasi mengenai analisis klaster dengan metode FGWC-GSA dan pengembangan teknologi di bidang analisis data.

1.5 Teori

1.5.1 Analisis Klaster

Analisis klaster merupakan metode analisis multivariat yang bertujuan mengelompokkan data observasi atau variabel-variabel ke dalam kelompok (klaster) sedemikian rupa sehingga setiap kelompok memiliki karakteristik yang serupa berdasarkan faktor yang digunakan untuk pengelompokan. Tujuan utamanya adalah untuk mencapai kelompok-kelompok yang memiliki kesamaan yang tinggi, dan dasar utama pengelompokan adalah kesamaan skor nilai yang dianalisis. Data mengenai tingkat kesamaan ini dapat diolah menggunakan teknik analisis klaster sehingga memungkinkan identifikasi anggota masing-masing kelompok (Gudono, 2016).

Tujuan dari analisis klaster adalah untuk mengelompokkan objek-objek yang memiliki kesamaan ke dalam kelompok yang sama. Karena alasan ini, diperlukan beberapa matriks untuk mengevaluasi sejauh mana objek-objek tersebut serupa atau berbeda satu sama lain. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah dengan mengukur seberapa dekat atau jauhnya pasangan objek dalam bentuk

jarak. Dalam konteks analisis kluster, terdapat tiga matriks yang digunakan untuk mengukur tingkat kesamaan antar objek, yaitu matriks asosiasi, matriks korelasi, dan matriks kedekatan (Hikmah dkk., 2022).

1.5.2 Evaluasi Z-Score

Pengecekan outlier data dapat dilakukan dengan menggunakan nilai standar baku atau *z-score*. Dalam analisis statistik, data dianggap sebagai outlier jika *z-score*-nya kurang dari -3,00 atau lebih besar dari 3,00. *Z-score* ini mengukur seberapa jauh suatu nilai menyimpang dari rata-rata dalam satuan standar deviasi (Sihombing dkk., 2023). Rumus untuk menghitung *z-score* dapat dilihat pada persamaan (1):

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_j}{\sigma_j} \quad (1)$$

Keterangan:

x_{ij} : Nilai data objek i pada variabel j

μ_j : Rata-rata variabel j

σ_j : Standar deviasi variabel j

Metode ini efektif untuk mendeteksi data yang sangat berbeda dari mayoritas data lainnya, sehingga membantu dalam mengidentifikasi dan menangani anomali yang dapat mempengaruhi hasil analisis. Penggunaan *z-score* sebagai alat deteksi outlier sangat penting dalam memastikan keakuratan dan integritas data yang dianalisis dalam penelitian.

1.5.3 Silhouette Coefficient

Silhouette coefficient adalah sebuah pendekatan yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas dan keefektifan dari kluster. Metode *silhouette coefficient* menggabungkan dua pendekatan, yaitu pendekatan koherensi yang digunakan untuk mengukur kedekatan antara objek-objek di dalam suatu kluster, dan pendekatan pemisahan yang digunakan untuk mengukur seberapa jauh suatu kluster berpisah dari kluster lainnya (Handoyo dkk., 2014). *Silhouette coefficient* menilai seberapa baik pengelompokan data telah dilakukan. Metode ini membantu dalam menentukan jumlah kluster yang optimal untuk data yang dianalisis (Widyadhana dkk., 2021). Adapun tahapan dari *silhouette coefficient* sebagai berikut:

1. Hitung rata-rata jarak dari objek i dengan semua objek lain yang berada dalam satu kluster dengan menggunakan persamaan (2):

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

keterangan:

$|A|$: banyaknya data dalam kluster A

i, j : indeks dari objek

$d(i, j)$: jarak antara atribut i dengan atribut j

2. Hitung rata-rata dari objek i dengan semua objek yang berada di kluster lainnya, dan diambil nilai terkecil dengan menggunakan persamaan (3):

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

Dengan, $d(i, C)$ adalah jarak rata-rata objek i dengan semua objek pada kluster lain C dengan $A \neq C$. Dari rata-rata tersebut, ambil nilai yang paling kecil. Nilai ini disebut $b(i)$.

3. Setelah itu hitung nilai *silhouette coefficient* dengan persamaan (4):

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

Skor *silhouette coefficient* memiliki rentang nilai antara -1 hingga 1. Ketika skor *silhouette coefficient* mendekati 1, ini menunjukkan bahwa pengelompokan data dalam kluster tersebut semakin optimal. Sebaliknya, ketika skor *silhouette coefficient* mendekati -1, hal ini mengindikasikan bahwa pengelompokan data dalam kluster tidak efektif (Pramesti, 2008). Dapat dilihat dari tabel (1) nilai *silhouette coefficient* berdasarkan (Sarle dkk., 1991):

Tabel 1 Kriteria Nilai *Silhouette Coefficient*

Nilai SC	Keterangan
$0,7 < SC \leq 1$	Struktur kuat
$0,5 < SC \leq 0,7$	Struktur medium
$0,25 < SC \leq 0,5$	Struktur Lemah
$SC \leq 0,25$	Tidak ada struktur

1.5.4 Fuzzy C-Means

Fuzzy C-means Clustering (FCM) merupakan pendekatan yang digunakan untuk membentuk kelompok data, di mana keanggotaan setiap titik data dalam suatu kelompok ditentukan melalui konsep derajat keanggotaan. Dalam FCM, diterapkan model pengelompokan *fuzzy* dengan memanfaatkan indeks kekaburan yang diukur melalui *Euclidean Distance*. Hasilnya, data memiliki kemungkinan untuk menjadi anggota dari berbagai kelompok yang terbentuk, dengan tingkat keanggotaan yang dapat bervariasi dalam rentang antara 0 hingga 1 (Jaya dkk., 2014).

Euclidean distance adalah perhitungan untuk mengukur jarak dua titik dalam *euclidean space* yang mempelajari hubungan antara sudut dan jarak (Derisma dkk., 2016). Dalam matematika *euclidean distance* digunakan untuk mengukur dua titik dalam satu dimensi yang memberikan hasil seperti perhitungan *pythagoras* (Mustofa & Suasana, 2020).

Berikut adalah persamaan *euclidean distance* (Miftahuddin dkk., 2020):

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (5)$$

keterangan:

d : Jarak

x_1 : Koordinat *Latitude* 1

- x_2 : Koordinat *Latitude* 2
 y_1 : Koordinat *Longitude* 1
 y_2 : Koordinat *Longitude* 2

Prinsip mendasar dalam metode *Fuzzy C-Means* (FCM) pertama-tama melibatkan langkah penting yaitu mengidentifikasi pusat-pusat klaster, yang merepresentasikan lokasi rata-rata dari masing-masing klaster yang terbentuk. Setiap titik data diberi nilai tingkat keanggotaan terhadap klaster-klaster yang terbentuk. Melalui serangkaian perulangan, penyesuaian posisi pusat klaster dan nilai tingkat keanggotaan titik-titik data secara bertahap akan mengarah pada perpindahan pusat klaster menuju posisi yang lebih akurat. Pendekatan perulangan ini didasarkan pada tujuan untuk meminimalkan fungsi objektif yang mencerminkan jarak antara titik-titik data yang ada dengan pusat-pusat klaster, yang dampaknya ditentukan oleh nilai tingkat keanggotaan masing-masing titik data (Jaya dkk., 2014).

Metode *Fuzzy C-Means* memiliki sejumlah kelemahan yang perlu diperhatikan. Salah satunya terletak pada inisialisasi acak matriks keanggotaan kelompok awal, yang berpotensi mengakibatkan ketidak konsistenan hasil (Kurniawan & Haqiqi, 2015). Terutama saat dihadapkan pada data berukuran besar, metode FCM cenderung menjadi kurang efektif karena rentan terhadap gangguan ('noise'). Selain itu, metode ini juga tidak memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi jumlah klaster secara otomatis, sehingga memerlukan pertimbangan tambahan dalam penerapannya (Alata dkk., 2008).

1.5.5 *Fuzzy Geographically Weighted Clustering*

Analisis klaster *Fuzzy Geographically Weighted Clustering* (FGWC) muncul sebagai solusi untuk mengatasi kelemahan yang telah dijelaskan di atas terkait FCM. Analisis *Fuzzy Geographically Weighted Clustering* merupakan perbaikan yang diaplikasikan pada algoritma *Fuzzy C-Means*, lebih cermat dalam mempertimbangkan aspek geografis karena melibatkan faktor populasi dan jarak dalam perhitungan bobot keanggotaan setiap observasi. Dalam FGWC, pengaruh suatu wilayah terhadap wilayah lainnya diartikan sebagai hasil dari kombinasi antara jumlah populasi dan jarak antara kedua wilayah tersebut (Jacobson dkk., 2007).

Setiap tahap iterasi pada pengelompokan *fuzzy clustering*, perhitungan keanggotaan kelompok dilakukan dengan memanfaatkan persamaan (6):

$$\mu_i' = \alpha \mu_i + \beta \frac{1}{A} \sum_j^n w_{ij} \mu_j \quad (6)$$

keterangan:

- μ_i' : Nilai keanggotaan baru dari objek i
 μ_i : Nilai keanggotaan lama dari objek i
 w_{ij} : Ukuran penimbang sejumlah interaksi antar wilayah
 A : Nilai untuk memastikan nilai penimbang tidak lebih dari 1

Nilai A dapat dilihat pada persamaan (7):

$$A = \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad (7)$$

α dan β merupakan parameter pengali untuk nilai keanggotaan sebelumnya dan faktor penyesuaian dari nilai rata-rata keanggotaan unit observasi lainnya. Adapun nilai α dan β didefinisikan sebagai berikut:

$$\alpha + \beta = 1$$

Pembobot geografis (w_{ij}) dapat dilihat pada persamaan (8):

$$w_{ij} = \frac{(m_i m_j)^b}{d_{ij}^a} \quad (8)$$

keterangan:

m_i : Jumlah populasi dari wilayah i

m_j : Jumlah populasi dari wilayah j

d_{ij} : Jarak antara wilayah i dan wilayah j

a dan b adalah parameter yang dapat diatur oleh pengguna (*user-definable parameter*), apabila efek dari populasi dianggap memiliki tingkat kepentingan yang setara dengan efek dari jarak, maka $a = b = 1$

Cara mengatasi kekurangan dan batasan yang ada dalam algoritma FCM adalah menggunakan algoritma FGWC untuk mengidentifikasi kelompok dengan faktor geografis yang terintegrasi. Adapun v_i didefinisikan pada persamaan (9):

$$v_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n u_{ijk} x_k}{\sum_{k=1}^n u_{ijk}} \quad (9)$$

keterangan:

n : jumlah data

v_{ij} : Pusat kluster ke- i dan pada variabel ke- j

x_k : Vektor data ke- k

u_{ijk} : Tingkat keanggotaan data pada x_k kluster i pada variabel ke- j

m : *Fuzziness*, parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kesamaran pada hasil kluster, $m > 1$

Langkah yang perlu dilakukan sebelum menjalankan algoritma FGWC adalah mendefinisikan matriks keanggotaan. Perhitungan matriks keanggotaan dilakukan dengan menggunakan persamaan (10):

$$U_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{|v_j - x_k|}{|v_j - x_i|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (10)$$

keterangan:

$U\{i, k\}$: Matriks keanggotaan

$|v_i - x_k|$: Jarak antara pusat kluster i dan data x_k

$|v_j - x_k|$: Jarak antara pusat kluster j dan x_k

c : Jumlah kluster

m : *Fuzziness*, parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kesamaran pada hasil kluster, $m > 1$.

Fungsi objektif pada FGWC, ditentukan dengan persamaan berikut:

$$J_{FGWC}(U, V; X) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n u_{ik}^m |v_i - x_k|^2 \rightarrow \min \quad (11)$$

keterangan:

U : Matriks Keanggotaan

V : Matriks untuk pusat kluster

X : Matriks untuk data

u_{ik} : elemen matriks keanggotaan

$|v_i - x_k|$: Jarak antara pusat kluster i dan x_k (titik data)

c : Jumlah kluster

m : *Fuzziness*, parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kesamaran pada hasil kluster, $m > 1$.

1.5.6 Gravitational Search Algorithm

Gravitational Search Algorithm (GSA) merupakan suatu teknologi yang dikembangkan oleh Rashedi, Nezamabadi-pour, dan Saryadi pada tahun 2009. Algoritma ini terinspirasi oleh prinsip-prinsip gerakan dan gravitasi yang ditemukan oleh Newton, di mana setiap entitas dalam algoritma dianggap sebagai agen yang memiliki massa. Dalam konteks GSA, agen dengan massa yang lebih kecil akan cenderung bergerak menuju agen yang memiliki massa yang lebih besar, mirip dengan gaya tarik-menarik gravitasi. Langkah awal dalam mengimplementasikan GSA melibatkan inialisasi secara acak dari N solusi dengan m dimensi (Masfufah dkk., 2021). Posisi dari setiap agen dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$x_i = (x_{i1}, \dots, x_{id}, \dots, x_{im})$$

Dalam setiap iterasi, total gaya yang bekerja pada setiap agen (F) dijelaskan sebagai berikut:

$$f_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_i(t)M_j(t)}{R_{ij}(t)} (x_i^d(t) - x_j^d(t))$$

$$F_{ij}^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N f_{ij}^d(t) \quad (12)$$

Di mana x_i^d merupakan posisi agen pada dimensi d , $G(t)$ adalah konstanta gravitasi pada t , M_i menggambarkan massa dari agen i dan $R_{ij}(t)$ adalah jarak *Euclidean* antara dua agen.

$$R_{ij}(t) = \|X_i(t), X_j(t)\|_2$$

$G(t)$ diperbarui pada setiap iterasi menggunakan rumus berikut:

$$G(t) = 1. \exp(-5. (t)) \quad (13)$$

Dimana t merupakan agen ke- n . Massa agen $M_i(t)$ didefinisikan sebagai berikut:

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)}$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t) \times c}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (14)$$

$fit_i(t)$ merupakan nilai *fitness* dari solusi. Konstanta (c) adalah variabel yang digunakan untuk mengontrol skala massa setiap agen relatif terhadap total massa dari semua agen. Nilai c optimal yang dapat digunakan dalam analisis GSA adalah sebesar 650 (Pramana & Pamungkas, 2018). *The best* dan *the worst* ditentukan oleh nilai *fitness* tersebut. Berikut adalah dua fungsi untuk mencari *the best* dan *the worst*.

$$best(t) = j \in \{1 \dots N\} \quad fit_j(t)$$

$$worst(t) = j \in \{1 \dots N\} \quad fit_j(t) \quad (15)$$

Percepatan (a) dan kecepatan (v) dari setiap agen didefinisikan sebagai berikut:

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)} \quad (16)$$

$$v_i^d(t + 1) = v_i^d(t) + a_i^d \quad (17)$$

Terakhir, lakukan pembaruan posisi pada masing-masing agen x .

$$x_i^d(t + 1) = x_i^d(t) + v_i^d(t + 1) \quad (18)$$

Ulangi proses diatas hingga mencapai iterasi maksimum atau hingga kriteria yang ditentukan terpenuhi.

1.5.7 Kriminalitas

Tindak kejahatan/kriminalitas atau pelanggaran merujuk pada perbuatan individu yang dapat mengakibatkan ancaman hukuman berdasarkan KUHP dan peraturan yang berlaku di Indonesia. Kriminalitas melibatkan berbagai bentuk tindakan yang menyebabkan kerugian ekonomi maupun psikologis, melanggar peraturan hukum yang berlaku di Indonesia, serta norma-norma sosial dan agama yang ada. Dengan kata lain, tindak kriminalitas mencakup segala bentuk perilaku yang tidak sah secara hukum dan melanggar norma sosial, sehingga menimbulkan penolakan dalam masyarakat. Dalam bidang kriminologi yang berfokus pada sudut pandang

sosiologis, kriminalitas didefinisikan sebagai pola perilaku tertentu yang memiliki potensi untuk menyebabkan ketidaknyamanan dan kerugian bagi masyarakat yang menjadi korban tindakan kriminal tersebut. Beberapa contoh bentuk tindak kriminalitas yang umum meliputi tindakan mencuri, melakukan kekerasan fisik, dan menghilangkan nyawa seseorang (Dewi dkk., 2018).

Menurut Dona (2015), tindak kriminal atau perbuatan melanggar hukum dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama sebagai berikut:

- a. Kriminalitas terhadap fisik manusia: Termasuk pembunuhan, penganiayaan berat, penganiayaan ringan, KDRT (Kekerasan Dalam Rumah Tangga), perkosaan, dan penculikan.
- b. Kriminalitas terhadap hak milik: Meliputi kebakaran, pencurian dengan pemberatan, pencurian dengan kekerasan, pencurian kendaraan bermotor, serta pengrusakan atau penghancuran barang.
- c. Kriminalitas jenis lainnya: Mencakup pelanggaran terkait narkoba dan psikotropika, tindak penipuan atau perbuatan curang, serta penggelapan.

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Data

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Statistik Politik dan Keamanan Provinsi Sulawesi Selatan 2022 yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Sulawesi Selatan. Data tersebut merupakan data jumlah kriminalitas menurut jenisnya pada tahun 2022. Adapun variabel datanya dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2 Variabel Data

Variabel	Keterangan
X_1	Jumlah Kasus Pembunuhan
X_2	Jumlah Kasus Penganiayaan Berat (Anirat)
X_3	Jumlah Kasus Penganiayaan Ringan (Anira)
X_4	Jumlah Kasus Kekerasan Dalam Rumah Tangga (KDRT)
X_5	Jumlah Kasus Perkosaan
X_6	Jumlah Kasus Melanggar Kesopanan / Kesusilaan
X_7	Jumlah Kasus Penculikan
X_8	Jumlah Kasus Pencurian Biasa (Termasuk Ringan)
X_9	Jumlah Kasus Pencurian Kendaraan Bermotor (Curanmor)
X_{10}	Jumlah Kasus Pencurian Dengan Pemberatan (Curat)
X_{11}	Jumlah Kasus Pengrusakan/ Penghancuran Barang
X_{12}	Jumlah Kasus Narkotika dan Psikotropika
X_{13}	Jumlah Kasus Penipuan/Perbuatan Curang
X_{14}	Jumlah Kasus Penggelapan

2.2 Metode Analisis

Analisis *Fuzzy Geographically Weighted Clustering* pada penelitian ini digunakan untuk mengelompokkan kabupaten/kota di Sulawesi Selatan berdasarkan data kriminalitas diatas. Adapun pengolahan data menggunakan bantuan bahasa pemrograman *python*. Langkah-langkah analisis pada FGWC yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisis statistika deskriptif untuk masing-masing variabel.
2. Melakukan evaluasi *z-score* dengan persamaan (1) untuk melihat ada tidaknya outlier pada data.
3. Menentukan parameter awal yaitu nilai *fuzziness(m)*, iterasi maksimum, nilai *threshold* dan parameter fungsi pembobot.

4. Melakukan proses *clustering* dengan metode FGWC-GSA dengan tahapan sebagai berikut:
 - a. Menginisialisasi pembobot geografis dengan menggunakan persamaan (6).
 - b. Menginisialisasi matriks keanggotaan awal secara random.
 - c. Melakukan Pembobotan pada matriks keanggotaan awal dengan matriks pembobot dengan persamaan (5)
 - d. Menghitung pusat *cluster* dengan persamaan (9).
 - e. Menghitung jarak data dengan pusat *cluster* dengan persamaan (4).
 - f. Menghitung nilai fungsi objektif menggunakan persamaan (11).
 - g. Menentukan *best* dan *worst* menggunakan persamaan (15).
 - h. Menghitung nilai *mass* dan *Mass* menggunakan persamaan (14).
 - i. Menentukan nilai gravitasi dengan persamaan (13).
 - j. Menghitung nilai *force* dan *Force* dengan persamaan (12).
 - k. Menghitung nilai *acceleration* dengan persamaan (16).
 - l. Menghitung nilai *velocity* dengan persamaan (17).
 - m. Memperbarui nilai matriks keanggotaan dengan persamaan (10).
 - n. Melakukan pembobotan pada matriks keanggotaan dengan persamaan (5)
 - o. Memberikan pengaruh *velocity* ke nilai matriks keanggotaan dengan persamaan (18)
 - p. Menghitung kembali pusat klaster, jarak data dengan pusat *cluster*, dan nilai fungsi objektif pada nilai matriks keanggotaan yang telah diberi pengaruh *velocity*.
 - q. Memeriksa hasil optimal. Nilai objektif yang paling optimal adalah nilai yang paling kecil. Jika perbedaan antara nilai fungsi objektif iterasi sekarang dan sebelumnya $< \textit{threshold}$, maka iterasi dihentikan
5. Menentukan jumlah *cluster* yang optimal pada analisis FGWC-GSA menggunakan indeks validitas *silhouette coefficient* dengan cara sebagai berikut:
 - a. Hitung rata-rata jarak dari objek *i* dengan semua objek lain yang berada dalam satu klaster dengan menggunakan persamaan (2).
 - b. Hitung rata-rata dari objek *i* dengan semua objek yang berada di klaster lainnya, dan diambil nilai terkecilnya dengan menggunakan persamaan (3).
 - c. Hitung nilai *silhouette coefficient* dengan persamaan (4).
6. Memperoleh hasil *clustering*
7. Memperoleh simpulan.