

**KAJIAN POLA SPASIAL KEPADATAN PEMUKIMAN
PENDUDUK PROVINSI LAMPUNG MENGGUNAKAN
EMERGING HOTSPOT ANALYSIS (EHSA) DAN PEMODELAN
DATA PANEL DINAMIS**

(DISERTASI)

Oleh

TIKA WIDAYANTI

NPM 2037061004



**PROGRAM STUDI DOKTOR MATEMATIKA DAN ILMU
PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**KAJIAN POLA SPASIAL KEPADATAN PEMUKIMAN
PENDUDUK PROVINSI LAMPUNG MENGGUNAKAN
EMERGING HOTSPOT ANALYSIS (EHSA) DAN PEMODELAN
DATA PANEL DINAMIS**

Oleh

Tika Widayanti

Disertasi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
DOKTOR MIPA**

Pada

**Program Pascasarjana
Doktor MIPA**



**PROGRAM STUDI DOKTOR MATEMATIKA DAN ILMU
PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

KAJIAN POLA SPASIAL KEPADATAN PEMUKIMAN PENDUDUK PROVINSI LAMPUNG MENGGUNAKAN *EMERGING HOTSPOT ANALYSIS* (EHSA) DAN PEMODELAN DATA PANEL DINAMIS

Oleh

TIKA WIDAYANTI

Pertumbuhan penduduk yang pesat dan tidak merata menjadi tantangan utama dalam perencanaan tata ruang, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia. Provinsi Lampung sebagai pintu gerbang Pulau Sumatera, mengalami dinamika demografis dan spasial yang signifikan selama dekade terakhir. Penelitian ini mengombinasikan empat metode utama, yaitu analisis spasial Getis Ord G_i^* dan *Standard Deviational Ellipse* (SDE) yang bertujuan memetakan arah dominasi spasial permukiman penduduk. *Emerging Hot spot Analysis* (EHSA) berbasis *Space-Time Cube* (STC) untuk mengidentifikasi wilayah yang mengalami perubahan signifikan, serta analisis data panel dinamis dengan metode *Generalized Method of Moments* (GMM) untuk mengkaji kepadatan di 15 kabupaten/kota Provinsi Lampung selama 2013 -2023. Hasil analisis menunjukkan tiga pola permukiman utama, yaitu pola *low clusters* di wilayah seperti Lampung Timur dan Metro, pola acak di Bandar Lampung dan Lampung Tengah, serta pola *high clusters* di Lampung Barat dan Tanggamus, yang mencerminkan pengaruh faktor geografis, aksesibilitas, dan perkembangan wilayah. Di Kota Bandar Lampung Kecamatan Kedaton, Way Halim, Rajabasa, dan Sukabumi mengalami pertumbuhan permukiman yang intensif, sementara kawasan seperti Tanjung Senang dan Panjang berkembang sebagai daerah *suburban* baru, dan Teluk Betung Barat serta Selatan menunjukkan tingkat pembangunan yang rendah. Faktor-faktor signifikan yang memengaruhi kepadatan penduduk di tingkat kota meliputi laju pertumbuhan penduduk, jumlah sekolah, fasilitas kesehatan, kelahiran hidup, dan jumlah industri, menandakan pentingnya variabel demografis dan layanan publik. Di tingkat provinsi, hasil analisis data panel dinamis menunjukkan bahwa luas permukiman, jumlah penduduk, IPM, dan panjang jalan secara signifikan mempengaruhi kepadatan penduduk baik dalam jangka pendek maupun panjang, di mana luas permukiman berpengaruh negatif terhadap kepadatan. Temuan ini memberikan dasar bagi perencanaan tata ruang dan pengelolaan permukiman yang lebih berkelanjutan di Provinsi Lampung.

Kata Kunci: Permukiman Penduduk; *Standard Deviational Ellipse*; *Emerging Hot spot Analysis*; Analisis Data Panel; Provinsi Lampung

ABSTRACT

SPATIAL PATTERN ANALYSIS OF SETTLEMENTS POPULATION DENSITY IN LAMPUNG PROVINCE USING EMERGING HOTSPOT ANALYSIS (EHSA) AND DYNAMIC PANEL DATA

By

TIKA WIDAYANTI

Rapid and uneven population growth poses a major challenge to spatial planning, particularly in developing countries such as Indonesia. Lampung Province, as the gateway to Sumatra Island, has experienced significant demographic and spatial dynamics over the past decade. This study integrates four methodological approaches: spatial analysis using Getis-Ord G_i^* and Standard Deviational Ellipse (SDE) to identify settlement patterns and spatial orientation; Emerging Hot spot Analysis (EHSA) based on the Space-Time Cube (STC) to detect areas of significant spatial change; and dynamic panel data analysis employing the Generalized Method of Moments (GMM) to examine the determinants of population density across 15 regencies and municipalities in the period 2013–2023. The findings reveal three primary settlement patterns, low clusters in East Lampung and Metro, random patterns in Bandar Lampung and Central Lampung, and high clusters in West Lampung and Tanggamus. These patterns reflect variations in geographic conditions, accessibility, and regional development. In Bandar Lampung City, districts such as Kedaton, Way Halim, Rajabasa, and Sukabumi exhibit intensive settlement growth, while Tanjung Senang and Panjang have emerged as rapidly developing suburban areas. Conversely, Teluk Betung Barat and Teluk Betung Selatan display relatively low development levels. Significant determinants of population density at the municipal level include population growth rate, number of schools, healthcare facilities, live births, and industrial activity underscoring the influence of demographic and public service factors. At the provincial level, settlement area, total population, Human Development Index, and road length significantly influence population density in both the short and long term, with settlement area showing a negative correlation. These findings offer a valuable basis for adaptive and sustainable spatial planning and settlement management in Lampung Province.

Keywords: Human Settlement; Standard Deviational Ellipse; Emerging Hot spot Analysis; Dynamic Panel Data, Lampung Province

Judul Disertasi : Kajian Pola Spasial Kepadatan Pemukiman Penduduk
Provinsi Lampung Menggunakan *Emerging Hotspot
Analysis* (EHSA) Dan Pemodelan Data Panel Dinamis

Nama Mahasiswa : Tika Widayanti

NPM : 2037061004

Program Studi : Statistika Doktor MIPA

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Bandar Lampung, 22 Oktober 2025



Dr. Khoirin Nisa, S.Si., M.Si.
NIP. 197407262000032001

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Khoirin', followed by a dotted line.

Prof. Ir. Netti Herawati, M.Sc., Ph.D
NIP. 196501251990032001

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Netti', followed by a dotted line.

2. Ketua Program Studi Doktor MIPA

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Khoirin', followed by a dotted line.

Dr. Khoirin Nisa, S.Si., M.Si.
NIP. 197407262000032001



PENGESAHAN PENGUJI

KAJIAN POLA SPASIAL KEPADATAN PEMUKIMAN PENDUDUK PROVINSI LAMPUNG MENGGUNAKAN *EMERGING HOTSPOT ANALYSIS* (EHSA) DAN PEMODELAN DATA PANEL DINAMIS

DISERTASI

OLEH
TIKA WIDAYANTI
NPM 2037061004

Tim Penguji

Jabatan	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc NIP. 198206182008121001	
Sekretaris	: Dr. Khoirin Nisa, S.Si., M.Si NIP.197407262000032001	
Anggota	: Prof. Ir. Netti Herawati, M.Sc., Ph.D. NIP. 196501251990032001	
	Dr. Ir. Citra Persada, M.Sc NIP. 196511081995012001	
	Dr. Subian Saidi, S.Si., M.Si. NIP. 198008212008121001	
	Titin Agustin Nengsih, S.Si., M.Si., Ph.D. NIP. 198208162006042002	

Dekan FMIPA UNILA,


Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Direktur Pascasarjana,


Prof. Ir. Murnadi, M.Si.
NIP. 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Disertasi : 22 Oktober 2025

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Kajian Pola Spasial Kepadatan Pemukiman Penduduk Provinsi Lampung Menggunakan *Emerging Hotspot Analysis* (Ehsa) Dan Pemodelan Data Panel Dinamis” beserta seluruh isinya adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan plagiarisme atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini saya siap menerima sanksi atau tindakan yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika akademik dalam karya saya ini, atau klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandar Lampung, 20 Juni 2025

Penuh,



Tika Widayanti

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Metro, yang merupakan anak pertama dari tiga bersaudara, putri dari Bapak Paino (Alm.) dan Ibu Tri Astuti. Penulis menempuh pendidikan sekolah atas di SMA Negeri 1 Metro pada Tahun 1997, dan melanjutkan program sarjana di Universitas Lampung pada Tahun 2000 mengambil jurusan Matematika dan pada Tahun 2008 penulis melanjutkan studi pascasarjana di Institut Pertanian Bogor dengan program studi Statistika Terapan.

Pada Tahun 2020, penulis diterima sebagai mahasiswa di Program Studi Doktor MIPA, Universitas Lampung. Selama masa studi penulis aktif melakukan penelitian mengenai spasial, perencanaan wilayah dan analisis geospasial.

Disertasi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor MIPA di Universitas Lampung. Penulis berharap bahwa penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi referensi dalam perencanaan pembangunan wilayah yang berbasis data spasial.

Bandar Lampung, 20 Juni 2025

Penulis,

Tika Widayanti

SANWACANA

Alhamdulillahirobbilalaamiin segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wata'ala karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan disertasi ini dengan judul Kajian Pola Spasial Kepadatan Pemukiman Penduduk provinsi Lampung dengan *Emerging Hot spot* (EHSA) dan Analisis Data Panel Dinamis, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor MIPA di Universitas Lampung.

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada:

1. Ibu Dr. Khoirin Nisa, S.Si., M.Si. selaku Promotor dan sekaligus sebagai Ketua Program Studi Doktor MIPA yang telah membimbing, membina, memberikan arahan dan motivasi secara intensif selama proses penyusunan penelitian ini berlangsung, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
2. Ibu Prof. Ir. Netti Herawati, M.Sc., Ph.D selaku Ko-Promotor yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan masukan ilmiah yang sangat berarti bagi kelengkapan dan kualitas penelitian ini.
3. Ibu Dr. Ir. Citra Persada, M.Sc. dan Bpk Dr. Subian Saidi, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan koreksi, kritik, serta saran yang membangun demi kesempurnaan naskah ini.
4. Ibu Titin Agustin Nengsih, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku penguji eksternal yang telah meluangkan waktu serta memberikan kritik dan saran yang membangun.
5. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku ketua tim penguji yang telah banyak memberikan saran dan evaluasi dalam penelitian ini.
6. Bapak Prof. Dr. Murhadi, M.Si. selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.

8. Keluarga tercinta, terutama kepada suami saya Wahyono, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan cinta yang tak ternilai selama proses penyusunan penelitian ini. Demikian juga kepada anak-anakku tersayang Aida, Athar dan Fareeq, yang dengan sabar dan penuh kasih memberikan kebahagiaan.
9. Civitas akademika Institut Teknologi Sumatera, yang telah menjadi tempat bertumbuh dan belajar, serta memberikan lingkungan akademik yang mendukung dalam proses pencapaian ilmu pengetahuan.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, do'a, dan dukungan dari berbagai pihak, penyusunan karya ilmiah ini tidak akan dapat terselesaikan dengan baik.

Semoga segala kebaikan dan bantuan yang diberikan mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah Subhanahu Wata'ala. Aamiin.

Bandar Lampung, 02 Oktober 2025

Penulis,

Tika Widayanti

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Kebaruan (<i>Novelty</i>)	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
II. LANDASAN TEORI.....	8
2.1 Data Spasial	8
2.2 Analisis Data Spasial.....	12
2.2.1 <i>Average Nearest Neighbor</i>	14
2.2.2 Indeks Moran's.....	15
2.2.3 Indeks Getis Ord G_i^*	16
2.2.4 <i>Standard Deviational Ellipse</i> (SDE).....	17
2.3 Analisis <i>Emerging Hotspot</i>	20
2.4 Matriks Pembobot Spasial	23
2.5 Analisis Regresi	24
2.6 Analisis Data Panel Dinamis.....	27
2.7 Kepadatan dan Pemukiman Penduduk.....	29
2.7.1 Kepadatan Penduduk	29
2.7.2 Pemukiman Penduduk	31
2.8 Penggunaan Lahan/ <i>Landuse</i>	35
2.9 Tutupan Lahan/ <i>Land Cover</i>	38
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	40
3.1 Data	40
3.2 Analisis Data Spasial.....	42
3.2.1 Pola Spasial Pemukiman Penduduk.....	42
3.2.2 Analisis <i>Standard Deviational Ellipse</i>	43
3.2.3 Analisis <i>Emerging Hotspot</i>	44
3.2.4 Analisis Perubahan Penggunaan Lahan	46
3.3 Analisis Pemukiman Penduduk Kota Bandar Lampung	47
3.4 Analisis Data Panel Dinamis Kepadatan Penduduk.....	48
IV. ANALISIS POLA SPASIAL.....	49
4.1 Analisis Pendahuluan	49
4.2 Analisis Pola Spasial Pemukiman Penduduk.....	52
4.2.1 <i>Average Nearest Neighbor</i> (ANN).....	53
4.2.2 Indeks Morans.....	54
4.2.3 Indeks Getis-Ord G_i^*	55

4.3 Pemetaan Getis Ord G_i^* dan <i>Standard Deviational Ellipse</i>	59
4.4 Analisis <i>Emerging Hotspot</i>	97
4.5 Perubahan Tutupan Lahan (<i>Land cover</i>).....	107
V. ANALISIS PEMUKIMAN PENDUDUK KOTA BANDAR LAMPUNG	
.....	111
5.1 Pemukiman Penduduk	111
5.2 Analisis Getis-Ord G_i^* Kota Bandar Lampung	115
5.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kepadatan Penduduk	116
VI. ANALISIS DATA PANEL DINAMIS KEPADATAN PENDUDUK	121
6.1 Pendahuluan	121
6.2 Pemilihan Model	126
6.3 Uji Spesifikasi Model Regresi Data Panel Dinamis	129
6.4. Persamaan Model	131
VII. KESIMPULAN DAN SARAN	134
7.1 Kesimpulan	134
7.2 Saran	135
DAFTAR PUSTAKA.....	137
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Klasifikasi Hasil Analisis <i>Emerging Hotspot</i>	22
4.1 Deskripsi Kepadatan Penduduk Provinsi Lampung	50
4.2 Hasil Analisis <i>Average Nearest Neighbor</i>	53
4.3. Hasil Analisis Indeks Morans	54
4.4. Hasil Analisis Getis Ord Gi*	56
4.5 Hasil EHSA Kota Metro.	102
4.6 Hasil EHSA Kabupaten Lampung Selatan	104
4.7 Hasil EHSA Kabupaten Pringsewu	107
4.8 Persentase Perubahan Penggunaan Lahan Provinsi Lampung Tahun 2013 ke Tahun 2023	108
4.9 Ringkasan Hasil Analisis Pola Spasial	110
5.1 Perubahan Luas Pemukiman Kota Bandar Lampung Tahun 2013 dan 2023	114
5.2 Variabel penelitian	117
5.3 Hasil Perhitungan Nilai VIF	117
5.4 Hasil Perhitungan Uji Glejser	118
5.5 Parameter Model	118
5.6 Ringkasan Hasil Analisis Spasial Kota Bandar Lampung.....	120
6.1 Analisis Korelasi Antar Variabel	126
6.2 Estimasi Parameter Pendekatan FD-GMM	127
6.3 Estimasi Parameter Pendekatan SYS-GMM	128
6.4 Hasil Uji Arellano Bond	129
6.5 Hasil Uji Sargen	130
6.6 Hasil Analisis Estimator FD_GMM dan SYS-GMM	130
6.7 Hasil Kriteria Pengujian Model	131

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 <i>Rook Contiguity</i>	12
2.2 <i>Bishop Contiguity</i>	13
2.3 <i>Queen Contiguity</i>	13
2.4. Klasifikasi Indeks ANN	14
2.5 Contoh <i>Standard Deviasiational Ellipse</i>	19
3.1 Hasil GEE Kabupaten Lampung Barat	41
3.2 Penentuan Jarak Antar <i>Centroid</i>	42
3.3 Ilustrasi <i>Space Time Cube</i>	45
3.4 Ilustrasi Hasil Analisis <i>Emerging Hotspot</i>	46
4.1. Peta Provinsi Lampung	49
4.2. Persebaran Pemukiman Penduduk Provinsi Lampung Tahun 2025	51
4.3 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kota Bandar Lampung	58
4.4 SDE Pemukiman Penduduk Kota Bandar Lampung	61
4.5 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kabupaten Lampung Barat	62
4.6 SDE Pemukiman Penduduk Kabupaten Lampung Barat	63
4.7 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kabupaten Lampung Selatan	65
4.8 SDE Pemukiman Penduduk Kabupaten Lampung Selatan	66
4.9 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kabupaten Lampung Tengah	68
4.10 SDE Pemukiman Penduduk Kabupaten Lampung Tengah	69
4.11 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kabupaten Lampung Timur	70
4.12 SDE Pemukiman Penduduk Kabupaten Lampung Timur	71
4.13 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kabupaten Lampung Utara	73

4.14 SDE Pemukiman Penduduk Kabupaten Lampung Utara	74
4.15 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kabupaten Mesuji	75
4.16 SDE Pemukiman Penduduk Kabupaten Mesuji	76
4.17 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kota Metro	78
4.18 SDE Pemukiman Penduduk Kota Metro	79
4.19 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kabupaten Pesawaran	81
4.20 SDE Pemukiman Penduduk Kabupaten Pesawaran	82
4.21 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kabupaten Pesisir Barat	83
4.22 SDE Pemukiman Penduduk Kabupaten Pesisir Barat	84
4.23 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kabupaten Pringsewu	86
4.24 SDE Pemukiman Penduduk Kabupaten Pringsewu	87
4.28 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kabupaten Tanggamus	88
4.29 SDE Pemukiman Penduduk Kabupaten Tanggamus	90
4.30 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kabupaten Tulang Bawang Barat	91
4.31 SDE Pemukiman Penduduk Kabupaten Tulang Bawang Barat	92
4.32 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kabupaten Tulang Bawang	93
4.33 SDE Pemukiman Penduduk Kabupaten Tulang Bawang	94
4.34 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi* Pemukiman Penduduk Tahun 2023 Kabupaten Way Kanan	95
4.35 SDE Pemukiman Penduduk Kabupaten Way Kanan	96

4.36. Peta Hasil Analisis <i>Emerging Hotspot</i> Kota Bandar Lampung	97
4.37 Peta Tiga Dimensi Hasil <i>Emerging Hotspot</i> Kota Bandar Lampung	98
4.38 Peta Hasil Analisis <i>Emerging Hotspot</i> Kota Metro	101
4.39 Peta Tiga dimensi <i>Emerging Hotspot</i> Kota Metro	101
4.40 Peta Hasil Analisis <i>Emerging Hotspot</i> Kabupaten Lampung Selatan	103
4.41 Peta Tiga Dimensi <i>Emerging Hotspot</i> Kabupaten Lampung Selatan	104
4.42 Peta Hasil Analisis <i>Emerging Hotspot</i> Kabupaten Pringsewu	105
4.43 Peta Tiga Dimensi <i>Emerging Hostspot</i> Kabupaten Pringsewu	106
5.1 Peta Kepadatan Pemukiman Kota Bandar Lampung Tahun 2013	112
5.2 Peta Kepadatan Pemukiman Kota Bandar Lampung Tahun 2023	113
5.3 Peta Hasil Analisis Getis Ord Gi*	115
6.1 Grafik Kepadatan Penduduk Provinsi Lampung	122
6.2 Grafik Luas Pemukiman Penduduk Provinsi Lampung	123
6.3 Grafik Jumlah Penduduk Provinsi Lampung	124
6.4 Grafik Panjang Jalan di Provinsi Lampung	125

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kependudukan di Indonesia saat ini berkembang sangat pesat, kepadatan rata-rata penduduk Indonesia pada Tahun 2023 adalah 147 jiwa/km² dan pada Tahun 2024 meningkat menjadi 149 jiwa/km² (Badan Pusat Statistik, 2025). Peningkatan rata-rata kepadatan penduduk yang hampir terjadi di semua wilayah Indonesia seperti halnya di Provinsi Lampung. Kepadatan penduduk Provinsi Lampung pada Tahun 2023 sebesar 277,41 jiwa/km² dan pada Tahun 2024 meningkat menjadi 280,55 jiwa/km², dengan posisi tertinggi berada di Kota Bandar Lampung sebesar 6.609,68 jiwa/km² dan Kota Metro dengan 2.400,08 jiwa/km², sementara Kabupaten Pesisir Barat menempati posisi terendah yaitu 57,56 jiwa/km² (Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung, 2025). Peningkatan jumlah kepadatan penduduk akan menjadi masalah jika tidak dipersiapkan dengan sebaik-baiknya dari segi lingkungan fisik maupun lingkungan sosial.

Masalah yang akan muncul seperti kurangnya perencanaan tata ruang yang baik dan lemahnya pengelolaan lingkungan sering kali berdampak langsung pada kehidupan masyarakat. Ketika ruang tidak diatur dengan bijak, muncul ketidakteraturan dalam penggunaan lahan, pencemaran lingkungan, serta meningkatnya risiko bencana yang mengancam keselamatan dan kenyamanan hidup. Selain itu, pelayanan sosial seperti pendidikan, kesehatan, dan akses infrastruktur tidak tersebar merata, membuat sebagian masyarakat tertinggal dalam menikmati manfaat pembangunan. Ketimpangan ini juga akan memperlebar jurang sosial dan ekonomi antar daerah, menciptakan rasa ketidakadilan dan menghambat upaya untuk mencapai kesejahteraan bersama. Sehingga penelitian ini dilakukan sebagai upaya untuk memberikan informasi dan kontribusi penting mengenai prediksi jumlah

peningkatan dan arah kepadatan pemukiman penduduk yang tepat sehingga dapat dilakukan antisipasi persiapan kewilayahan yang memadai guna terciptanya tatanan kehidupan masyarakat yang sejahtera.

Kepadatan penduduk erat kaitannya dengan kepadatan pemukiman yang didalamnya terdapat pengaruh spasial, dimana suatu wilayah akan mempengaruhi wilayah yang lain. Untuk menganalisis fenomena tersebut dibutuhkan suatu metode yang sesuai salah satunya adalah dengan menggunakan metode statistik spasial. Penelitian ini mengkombinasikan metode analisis spasial dan statistik, yaitu analisis pola spasial (*Standard Deviational Ellipse*), *Emerging Hot spot Analysis* (EHSA), analisis regresi linier untuk mengukur pengaruh faktor-faktor terhadap kepadatan penduduk di Kota Bandar Lampung, serta analisis data panel dinamis untuk memodelkan faktor determinan kepadatan penduduk di tingkat kabupaten/kota se-Provinsi Lampung dari Tahun 2013 hingga 2023.

Pola penyebaran penduduk tidak terjadi secara begitu saja namun terdapat pengaruh topografi, aksesibilitas, infrastruktur, dan perubahan penggunaan lahan yang menyebabkan konsentrasi penduduk tinggi di wilayah tertentu, terutama wilayah perkotaan. Untuk mengukur arah spasial pertumbuhan penduduk, digunakan analisis *Standard Deviational Ellipse* (SDE) yang dapat menggambarkan arah, penyebaran, dan konsentrasi spasial dari fenomena geospasial. SDE telah digunakan secara luas dalam studi geografi kota untuk memetakan pergeseran spasial pemukiman, seperti identifikasi pemanfaat lahan (Chen 2024), faktor yang mempengaruhi hunian hijau di Tiongkok (Guo dan Yuan, 2022), pemanfaatan perluasan lahan di kawasan danau Poyang (Zhong *et al.*, 2019), mekanisme mitigasi lingkungan termal perkotaan dengan menggunakan dektektor geografis dan SDE (Zhao *et al.*, 2022), analisis pola perluasan wilayah kota Tiongkok berdasarkan data cahaya malam dengan menggunakan SDE (Xu *et al.*, 2023). Dalam konteks Provinsi Lampung, SDE dapat mengungkap pergeseran pusat kepadatan pemukiman penduduk dari tahun ke tahun, yang juga menunjukkan adanya tekanan pembangunan dan kebutuhan infrastruktur baru di kawasan tertentu.

Selain menggambarkan arah penyebaran perlu juga ditelusuri bagaimana intensitas spasial berubah dari waktu ke waktu, maka *Emerging Hot spot Analysis* (EHSA)

menjadi sangat penting. EHSA mampu menganalisis identifikasi titik-titik atau area yang mengalami peningkatan (*hotspot*) atau penurunan (*coldspot*) secara signifikan dalam rentang waktu tertentu. EHSA bekerja dengan memanfaatkan *Space-Time Cube* (STC) yang memodelkan data spasial dalam dimensi waktu, kemudian menerapkan algoritma statistik Getis-Ord G_i^* untuk mendeteksi lokasi dengan konsistensi atau perubahan signifikan. Hal ini bermanfaat sebagai perencanaan kota karena wilayah yang menjadi “*intensifying hot spot*” perlu diwaspadai dalam konteks *urban sprawl* atau untuk menyediakan kebutuhan penyediaan layanan publik. EHSA efektif untuk mengidentifikasi tren spasial dalam waktu panjang, dan telah digunakan untuk memetakan perubahan penggunaan lahan, perumahan, serta aksesibilitas layanan publik. Studi lain oleh Gui (2024) menunjukkan bahwa EHSA dapat mengungkapkan evolusi pola spasiotemporal perluasan perkotaan, penelitian lain juga dilakukan oleh Zhang (2024) analisis perluasan pemukiman yang memperhatikan penurunan tanah di Kota Beijing.

Pendekatan EHSA pada penelitian ini akan digunakan untuk mendeteksi kawasan yang mengalami percepatan pertumbuhan penduduk atau perkembangan permukiman terutama di Kota Bandar Lampung yang menjadi poros utama urbanisasi. Lebih jauh lagi, penelitian terdahulu menunjukkan adanya pertumbuhan populasi dan perubahan penggunaan lahan lebih cepat dipinggiran kota (*suburban*) dibandingkan kota di Bandar Lampung (Ansar & de Vries, 2024). Selain itu Kota Bandar Lampung yang merupakan ibu kota provinsi menjadi pusat konsentrasi penduduk, ekonomi, dan aktivitas perkotaan. Fenomena kepadatan yang tinggi menimbulkan berbagai implikasi seperti tekanan terhadap lahan, kemacetan, serta ketimpangan infrastruktur. Oleh karena itu perlu dianalisis lebih lanjut faktor-faktor yang memengaruhi kepadatan di dalam kota tersebut. Untuk itu digunakan analisis regresi linier berganda, dengan variabel dependen berupa kepadatan penduduk dan variabel independen meliputi topografi, laju pertumbuhan penduduk, jumlah sekolah, jumlah fasilitas kesehatan, kelahiran, pernikahan dan jumlah industri.

Studi oleh Lastra Anadon (2019) dan Shi *et al.*, (2020) menunjukkan bahwa faktor pendidikan dan layanan publik secara signifikan memengaruhi kepadatan permukiman di kawasan perkotaan. Sementara itu, Yegorov (2009), Joubert (2022), Chen & Zhang (2024), juga menemukan bahwa variabel sosial-ekonomi dan

aksesibilitas merupakan peran besar dalam mendorong konsentrasi penduduk. Dengan pendekatan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai bagaimana kombinasi faktor spasial dan sosial mendorong konsentrasi penduduk di Bandar Lampung. Sementara di tingkat provinsi dibutuhkan pendekatan yang mempertimbangkan dinamika waktu dan perbedaan antar wilayah administratif. Oleh karena itu digunakan analisis data panel dinamis (*Dynamic Panel Data Analysis*), yang mengombinasikan dimensi spasial dan temporal. Model dinamis seperti Arellano-Bond *Generalized Method of Moments* (GMM) digunakan untuk mengatasi masalah endogenitas serta memodelkan pengaruh lag dari kepadatan penduduk terhadap kepadatan saat ini. Variabel bebas yang digunakan meliputi luas permukiman, jumlah penduduk, Indeks Pembangunan Manusia (IPM), dan panjang jalan, yang semuanya diperoleh dari data Badan Pusat Statistik (BPS) dan *Google Earth Engine* selama 2013 – 2023.

Data panel dinamis mampu memberikan estimasi yang lebih efisien dibandingkan *cross-section* karena mempertimbangkan variasi antar waktu dan lokasi. Sedangkan Blundell & Bond (2023) serta Kripfganz (2019) mengembangkan System GMM untuk meningkatkan efisiensi dalam model dinamis dengan ukuran sampel kecil dan periode waktu sedang, seperti konteks 15 kabupaten/kota selama 11 tahun di Lampung. Pendekatan tersebut dianggap mampu menjelaskan dinamika penyebaran penduduk dan memprediksi tren masa depan di Provinsi Lampung.

Berdasarkan uraian di atas penelitian ini mengkaji pola pemukiman penduduk di Provinsi Lampung dengan menggabungkan empat pendekatan analitik yang saling melengkapi yaitu SDE untuk memetakan arah penyebaran spasial, EHSA untuk mengungkap dinamika tren spasial, regresi linier untuk mengidentifikasi faktor penting pada skala mikro dan analisis panel dinamis untuk memodelkan variasi dan perubahan jangka panjang antar daerah.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang disusun berdasarkan latar belakang, urgensi, dan kebaruan penelitian mengenai analisis spasial dan statistik pemukiman penduduk di Provinsi Lampung antara lain:

1. Bagaimana pola penyebaran spasial pemukiman penduduk di Provinsi Lampung dari Tahun 2013 hingga 2023 berdasarkan pola spasial, arah dan konsentrasinya menggunakan analisis *Standard Deviational Ellipse* (SDE)?
2. Di wilayah mana saja terjadi perubahan signifikan dalam pola pemukiman penduduk selama periode 2013 - 2023 berdasarkan hasil *Emerging Hot spot Analysis* (EHSA) 4 Kota/Kabupaten di Provinsi Lampung?
3. Faktor-faktor apa saja yang memengaruhi variasi kepadatan penduduk di Kota Bandar Lampung, dan bagaimana arah serta besar pengaruhnya berdasarkan analisis regresi linier berganda?
4. Bagaimana dinamika kepadatan penduduk di Provinsi Lampung dari Tahun 2013 hingga 2023, dan bagaimana pengaruh variabel luas permukiman, jumlah penduduk, IPM, dan panjang jalan terhadap kepadatan berdasarkan analisis data panel dinamis?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pola spasial dan dinamika temporal permukiman penduduk di Provinsi Lampung dengan pendekatan geospasial yang komprehensif. Melalui integrasi metode Getis-Ord G_i^* , *Standard Deviational Ellipse* (SDE), dan *Emerging Hot Spot Analysis* (EHSA), penelitian ini secara khusus bertujuan untuk:

1. Menganalisis arah, konsentrasi, dan pola penyebaran spasial pemukiman penduduk di Provinsi Lampung selama periode 2013 hingga 2023 menggunakan metode *Standard Deviational Ellipse* (SDE).
2. Mengidentifikasi lokasi-lokasi yang mengalami perubahan signifikan dalam pemukiman penduduk, baik peningkatan maupun penurunan, menggunakan metode *Emerging Hot spot Analysis* (EHSA) 4 Kota/Kabupaten di Provinsi Lampung.
3. Mengetahui dan mengukur pengaruh variabel spasial dan sosial, seperti topografi, laju pertumbuhan penduduk, jumlah sekolah, jumlah fasilitas kesehatan, kelahiran, pernikahan dan jumlah industri terhadap kepadatan penduduk di Kota Bandar Lampung melalui analisis regresi linier berganda.

4. Menganalisis dinamika kepadatan penduduk di Provinsi Lampung dalam kurun waktu 2013 - 2023, serta mengetahui pengaruh variabel luas permukiman, jumlah penduduk, IPM, dan panjang jalan terhadap kepadatan penduduk menggunakan analisis data panel dinamis (*Dynamic Panel Data Analysis*).

1.4 Kebaruan (*Novelty*)

Penelitian ini menghadirkan kebaruan melalui integrasi metode *Emerging Hot spot Analysis* (EHSA) berbasis *Space-Time Cube* dengan analisis data panel dinamis untuk mengkaji kepadatan permukiman secara spasial-temporal. Keunggulan penelitian ini terletak pada penggunaan variabel multidimensi, yaitu luas permukiman, jumlah penduduk, indeks pembangunan manusia, dan panjang jalan, yang dianalisis secara simultan untuk mengungkap faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan permukiman. Selain mengidentifikasi lokasi permukiman padat, penelitian ini juga mampu mendeteksi tren dinamika *hotspot* seperti *intensifying* dan *emerging*, sehingga dapat digunakan sebagai dasar penyusunan strategi tata ruang, pemerataan layanan sosial, dan peningkatan kesejahteraan lingkungan secara berkelanjutan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan analisis spasial, khususnya melalui penerapan metode *Emerging Hot spot Analysis* (EHSA) dan analisis data panel dinamis dalam mengkaji pola kepadatan permukiman. Temuan dari penelitian ini dapat memperkaya literatur tentang perencanaan wilayah dan tata ruang berbasis data geospasial, serta menjadi referensi bagi penelitian sejenis di masa mendatang.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan oleh pemerintah daerah sebagai dasar dalam perencanaan spasial, pengelolaan permukiman, serta penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) berbasis data. Strategi pembangunan wilayah yang berbasis pada data empiris akan lebih efektif dalam menjawab tantangan urbanisasi dan pemerataan pembangunan.

3. Penelitian ini dapat membantu mengidentifikasi wilayah-wilayah yang mengalami tekanan pembangunan permukiman secara signifikan, sehingga menjadi acuan dalam menetapkan prioritas pembangunan infrastruktur dan pengendalian alih fungsi lahan.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Data Spasial

Data spasial menurut Cone, 1998 dan Hepworth, 2006 adalah data yang didalamnya mengandung lokasi atau letak geografis suatu wilayah, data spasial memiliki sistem koordinat tertentu yaitu sebagai dasar referensi dan mempunyai dua bagian penting, hal ini yang membedakan data spasial dari data lain. Dua bagian penting tersebut adalah informasi lokasi (*spatial*) dan informasi deskriptif (*attribute*):

- a. Informasi lokasi (*spatial*), berkaitan dengan suatu koordinat baik koordinat geografi (lintang dan bujur) maupun koordinat keruangan yaitu XYZ.
- b. Informasi deskriptif (*attribute*) atau informasi non spasial yaitu informasi mengenai suatu lokasi yang memiliki beberapa keterangan yang berkaitan.

Data spasial dalam *Geography information system* (GIS) dapat direpresentasikan kedalam dua bentuk format yaitu,

- a. Data vektor

Data vektor didefinisikan oleh sistem koordinat kartesian dua dimensi (x,y), yang merupakan data bentuk bumi yang direpresentasikan ke dalam kumpulan garis (*line*), area atau *polygon* (daerah yang dibatasi oleh garis yang berawal dan berakhir pada titik yang sama), titik (*point*) dan *nodes* (merupakan titik perpotongan antara dua buah garis).

- b. Data raster

Data raster adalah data yang dihasilkan dari sistem penginderaan jarak jauh seperti citra satelit atau foto udara. Pada data raster, obyek geografis direpresentasikan sebagai struktur sel grid yang disebut dengan pixel (*picture element*).

Data spasial diperoleh dari berbagai sumber informasi antara lain:

- a. Peta Analog, peta analog dapat berupa peta topografi, peta tanah dan sebagainya yang berupa peta dalam bentuk cetak. Pada umumnya peta analog dibuat dengan teknik kartografi, kemungkinan besar memiliki referensi spasial seperti koordinat, skala, arah mata angin dan sebagainya. Dalam GIS sebagai keperluan sumber data, peta analog dikonversi menjadi peta digital dengan cara format raster diubah menjadi format vektor melalui proses digitalisasi sehingga dapat menunjukkan koordinat sebenarnya di permukaan bumi.
- b. Data Sistem Penginderaan Jauh, data ini diperoleh antara lain dari citra satelit, foto-udara dan sebagainya, merupakan sumber data yang terpenting dalam sistem informasi geografis karena ketersediaanya secara berkala dan mencakup area tertentu. Dengan adanya bermacam-macam satelit di ruang angkasa dengan spesifikasinya masing-masing, data ini direpresentasikan dalam format raster.
- c. Data Hasil Pengukuran Lapangan, data ini dihasilkan dari teknik perhitungan tersendiri, pada umumnya data ini merupakan sumber data atribut seperti batas administrasi, batas kepemilikan lahan, batas persil, batas hak perusahaan hutan dan lain-lain.
- d. Data GPS (*Global Positioning System*), data ini memberikan terobosan penting dalam menyediakan data bagi GIS. Keakuratan pengukuran GPS semakin tinggi dengan berkembangnya teknologi, data ini direpresentasikan dalam format vektor.

Data spasial dapat dilakukan analisis dengan terlebih dahulu mengetahui jenis datanya, jenis data spasial dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu:

1. Data Geostatistik

Geostatistika dikenalkan pertama kali pada Tahun 1980-an sebagai gabungan disiplin ilmu antara teknik pertambangan, geologi, matematika, dan statistik. Sehingga geostatistika mampu mendeskripsikan dan menganalisis data kebumihan. Pada dasarnya geostatistika dapat digunakan untuk pendugaan dan menelaah variabel, faktor atau keadaan yang ada kaitannya dengan ilmu kebumihan. Data geostatistik adalah data yang berupa titik, baik beraturan (*regular*) maupun tidak beraturan (*irregular*) dari suatu distribusi spasial

kontinu. Data dari setiap sampel titik didefinisikan oleh lokasi dan bobot nilai pengukuran objek yang diamati. Setiap nilai data berhubungan dengan lokasinya. Prinsip dasar geostatistika adalah bahwa area yang sering berdekatan akan cenderung memiliki bobot nilai yang tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan area yang berjauhan.

2. Data area (*lattice data*)

Data area didefinisikan sebagai titik-titik yang tersebar merata dalam ruang, bentuk dari data tersebut beraturan (*regular*) maupun tidak beraturan (*irregular*), data tersebut didukung informasi lingkungan dan dihubungkan dengan batas-batas tertentu. Secara definisi data area merupakan sebuah konsep dari garis tepi dan *neighbor* (tetangga sebelah). Data untuk tiap area didefinisikan oleh lokasi dan bobot nilai pengukurannya. Secara umum, data area digunakan pada studi epidemiologi, misalnya untuk mengetahui pertumbuhan suatu penyakit, pada suatu wilayah yang terbagi menjadi area-area tertentu. Perlu diingat bahwa variabel respon didefinisikan sebagai himpunan terhitung dari lokasi. Sehingga tidak mungkin dilakukan interpolasi karena tidak membentuk suatu permukaan melainkan membentuk sekumpulan titik yang saling berhubungan.

3. Data pola titik (*point pattern*)

Data pola titik adalah data yang diperoleh dari sekumpulan titik-titik pada suatu objek pengamatan yang berdistribusi spasial diskrit. Sampel yang digunakan adalah sampel tak beraturan atau sampel yang memiliki jarak yang berbeda. Lokasi pola titik diperoleh berdasarkan pada posisi koordinat (x,y) dari titik-titik yang diamati sedangkan data pola titik spasial didapatkan dari informasi pada objek yang bersesuaian. Data ini dapat menggambarkan keacakan spasial sempurna, clustering, atau keteraturan. Variasi ukuran-ukuran disebut sebuah variabel penanda (*mark variabel*), dan keseluruhan proses selanjutnya disebut sebagai proses titik spasial bertanda (*marked spatial point process*). Hal terpenting dari analisis pola titik ini adalah untuk mengetahui hubungan ketergantungan antar titik, yaitu mengetahui apakah lokasi titik-titik yang menjadi objek-objek penelitian membentuk kluster atau membentuk keteraturan. Metode yang paling sering digunakan dalam analisis pola titik ini adalah dengan peta titik (*dot map*). Pemetaan secara lengkap dari titik-titik yang menjadi objek

penelitian sangatlah penting, hal ini dilakukan untuk mengetahui kecenderungan sebuah pola dari pemeriksaan visual pada peta. Data pola titik spasial dapat diobservasikan dalam berbagai fenomena yang terjadi di alam.

Cone, (1998) dan Concalves, (2021) menyebutkan bahwa data spasial dapat dimodelkan dalam bentuk yang sangat sederhana sehingga cukup mudah untuk dianalisis walaupun ukuran datanya sangat besar. Data yang digunakan dapat berupa data kontinu maupun data diskrit, atau berupa agregasi spasial maupun pengamatan pada titik-titik dalam ruang atau lokasi.

Misalkan $\{Z(s_i): s_i \in D\}$, D adalah spasial poin proses dan $Z(s_i)$ sebuah himpunan acak lokasi $s_i \in D$. Sehingga data dari proses tersebut adalah,

$$X = \cup \{Z(s_i): s_i \in D\}$$

Pendugaan untuk data spasial adalah sebagai berikut, misalkan $Z(1), Z(2), \dots, Z(n)$ adalah berdistribusi normal yang bebas dan identik, dengan mean μ dan varian σ_0^2 , maka pendugaan varian minimum tak-bias bagi μ adalah,

$$\bar{Z} = \sum_{i=1}^n \frac{Z(i)}{n}$$

Selang kepercayaan (*confidence interval*) 95% bagi μ adalah sebagai berikut,

$$\left(\bar{Z} - (1,96) \sigma_0 / \sqrt{n}, \bar{Z} + (1,96) \sigma_0 / \sqrt{n} \right)$$

dan $cov(Z(i), Z(j)) = \sigma_0^2 \cdot \rho^{|i-j|}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ $0 < \rho < 1$

sedangkan varian untuk data spasial adalah,

$$var(\bar{Z}) = n^{-2} \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n cov(Z(i), Z(j)) \right\}$$

pendugaan maximum Likelihood bagi μ adalah,

$$\hat{\mu} = \{Z(1) + (1 - \rho) \sum_{i=2}^{n-1} Z(i) + Z(n)\} / \{n - (n - 2)\rho\}$$

2.2 Analisis Data Spasial

Analisis spasial merupakan analisis berupa perhitungan sederhana, klasifikasi, penataan, *overlay* geometris dan pemodelan kartografi. Analisis spasial terdiri dari visualisasi, eksplorasi dan pemodelan. Visualisasi adalah memberikan informasi hasil analisis data, eksplorasi mengolah data spasial dengan menggunakan metode statistik, sedangkan pemodelan adalah membuat suatu pendugaan berdasarkan data yang sudah ada. Analisis spasial membutuhkan data spasial yaitu data yang memiliki lokasi geografi berupa lintang dan bujur maupun grid koordinat, data tersebut juga mengandung karakteristik dari lokasi tersebut. Data lokasi harus diukur guna mengetahui efek spasialnya yaitu dengan cara mengetahui sumber datanya berdasarkan informasi lokasi hubungan ketetanggaan (*neighborhood*) dan jarak (*distance*). Dalam analisis spasial hal yang harus diperhatikan adalah pembobot atau disebut dengan *spatial weight matrix* yang berfungsi sebagai pembobot antar lokasi berdasarkan hubungan ketetanggaan, bobot pada grid ketetanggaan dapat didefinisikan sebagai berikut (Anselin, 2019):

1. *Rook Contiguity*

Satuan unit spasial adalah bertetangga jika kedua sisinya saling bersinggungan, seperti pada Gambar 2.1, bahwa 2, 6, 8 dan 4 adalah tetangga dari 5.

	2	
4	5	6
	8	

Gambar 2.1 *Rook Contiguity*

2. *Bishop Contiguity*

Satuan unit spasial adalah bertetangga jika sudutnya saling bersinggungan dan sisinya diabaikan seperti pada Gambar 2.2 bahwa 1, 3, 9 dan 7 adalah tetangga dari 5.

1		3
	5	
7		9

Gambar 2.2 *Bishop Contiguity*

3. *Queen Contiguity*

Satuan unit spasial adalah bertetangga jika sisi dan sudutnya saling bersinggungan, seperti pada Gambar 2.3 bahwa 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 dan 9 adalah tetangga dari 5.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Gambar 2.3 *Queen Contiguity*

Matriks pembobot spasial diperoleh dengan dua cara yaitu matrik pembobot \mathbf{W} terstandarisasi (*standardized contiguity matrix*) yang diperoleh dengan memberikan pembobot yang sama rata terhadap tetangga yang lokasinya berdekatan, dan matrik pembobot \mathbf{W}^* tak terstandarisasi (*unstandardized contiguity matrix*) yang memberikan bobot satu untuk lokasi yang berdekatan dan nol untuk lokasi lainnya. Bentuk matriks pembobot tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix}$$

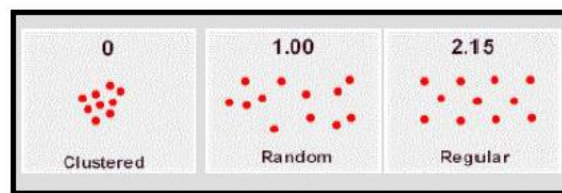
dimana matriks \mathbf{W} adalah matriks normalisasi dengan $w_{ij} = \frac{c_{ij}}{c_i}$ dengan c_{ij} adalah nilai ketetanggaan lokasi ke i dengan lokasi ke j dan c_i adalah jumlah ketetanggaan pada lokasi ke- i (Keisuke, 2016; Kim & Brewer, 2020).

Pada data spasial salah satu asumsi yang harus dipenuhi sama dengan asumsi dalam analisis regresi yaitu pada residual tidak terdapat autokorelasi, maka pada data spasial asumsinya residual tidak terdapat autokorelasi spasial atau tidak terdapat pola spasial pada residualnya. Namun ketika residual tidak bebas, maka akan sangat

sulit untuk menentukan signifikansi suatu estimasi, sehingga untuk mengatasi efek spasial yang rumit tersebut perlu dilihat bagaimana pengaruh fenomena pengelompokan geografis dalam suatu wilayah, sehingga diperlukan salah satu metode analisis spasial yang mampu mendeteksi pola spasial dengan menggunakan informasi berupa data titik maupun data area. Analisis spasial tersebut adalah analisis pola titik (*point pattern analysis*) dan pola area, analisis *pattern* tersebut antara lain:

2.2.1 Average Nearest Neighbor

Average Nearest Neighbor (ANN) adalah suatu metode dalam geografi untuk menentukan pola persebaran pemukiman, ANN mampu menjelaskan persebaran titik-titik lokasi tempat dengan menggunakan perhitungan jarak, jumlah titik lokasi dan luas wilayah, hasil dari analisis ANN berupa indeks yang memiliki rentang antara 0 - 2,15. Jika indeks kurang dari 1 maka dikatakan pola berkelompok, jika indeksnya lebih besar dari 1 maka disebut dengan pola menyebar seperti pada Gambar 1.



Gambar 2.4. Klasifikasi Indeks ANN

Perumusan untuk ANN adalah sebagai berikut,

$$ANN(R) = \frac{\bar{D}_0}{\bar{D}_E}$$

dimana \bar{D}_0 adalah jarak rata-rata antara setiap fitur dan tetangga terdekat, dan \bar{D}_E adalah jarak rata-rata yang diharapkan dalam pola acak, dengan

$$\bar{D}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \text{ dan } \bar{D}_E = \frac{1}{2\sqrt{p}}$$

dimana p adalah nilai kepadatan titik dalam kilometer persegi, dengan rumus

$$p = \frac{n}{|A|}$$

dengan n adalah banyaknya jumlah fitur dan A adalah area atau luas wilayah.

Pada ANN untuk menentukan pola dan signifikansi secara statistik serta untuk menghindari bias, maka digunakan *z-score*, dimana nilai ini mengukur seberapa jauh jarak rata-rata antar tetangga terdekat dari jarak yang diharapkan pada pola acak. Nilai *z-score* dapat diperoleh dengan rumus berikut,

$$z = \frac{\bar{D}_0 - \bar{D}_E}{\sigma_{\bar{D}_E}}$$

dimana $\sigma_{\bar{D}_E}$ standar error jarak rata-rata tetangga terdekat dibawah *complete spatial randomness* (CSR) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_{\bar{D}_E} = \frac{0,26136}{\sqrt{n\rho}}$$

dengan interpretasi jika *z-score* bernilai negatif menunjukkan bahwa data mengelompok, jika bernilai positif maka mengindikasikan data menyebar (Jay *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2020; Thompson *et al.*, 2022).

2.2.2 Indeks Morans

Indeks Morans merupakan alat yang banyak digunakan dalam menentukan autokorelasi spasial secara global, selain itu juga dapat digunakan sebagai alat untuk mendeteksi keacakan spasial yang dapat menunjukkan suatu pola yang mengelompok atau mengikuti tren tertentu, perhitungan indeks morans dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

dimana w_{ij} adalah elemen pada pembobot terstandarisasi antara daerah i dan j, n banyaknya lokasi, x_i adalah nilai pada lokasi ke-i, x_j adalah nilai pada lokasi ke-j dan \bar{x} adalah rata-rata dari jumlah nilai. Interpretasi untuk indeks morans bahwa jika nilai I mendekati +1 atau Indeks morans lebih besar dari $E(I)$ mengindikasikan bahwa terdapat autokorelasi spasial positif, dan jika nilai indeksnya lebih kecil dari $E(I)$ mengindikasikan bahwa terjadi autokorelasi spasial negatif (Abdulhafedh, 2017). Untuk pengujian hipotesis dilakukan dengan menggunakan statistik z yaitu:

$$Z = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}}$$

pengujian hipotesis H_0 adalah tidak terdapat autokorelasi spasial dan H_1 adalah terdapat autokorelasi spasial, dengan wilayah kritik berdasarkan tabel normal (Wang *et al.*, 2019; Gao *et al.*, 2020), dengan

$$E[I] = \frac{-1}{n-1}$$

dan,

$$V[I] = \frac{n^2(n-1)S_1 - n(n-1)S_2 + 2(n-2)S_0^2}{(n+1)(n-1)^2S_0}$$

dimana,

$$S_0 = \sum_i^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij}$$

$$S_1 = 0,5 \sum_i^n \sum_{j \neq i}^n (w_{ij} + w_{ji})^2$$

$$S_2 = \sum_k^n \left(\sum_j^n w_{kj} + \sum_i^n w_{ik} \right)^2$$

2.2.3 Indeks Getis Ord G_i^*

Indeks Morans memiliki sifat statistik yang menggambarkan autokorelasi spasial secara global, namun statistik Getis Ord G_i^* memiliki perbedaan yaitu pendekatannya dilakukan dengan dependensi spasial dalam menggunakan matriks *contiguity* yang didasarkan pada jarak. Statistik G_i^* mampu mendeteksi keberadaan wilayah *hot spot* atau *cold spot* di seluruh wilayah pengamatan, daerah *hot* atau *cold spot* merupakan daerah konsentrasi spasial. Sama dengan indeks Morans pada statistik G_i^* juga didasarkan pada perkalian silang sebagai ukuran dari hubungan spasial. Statistik Getis Ord G_i^* dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$G(d) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}(d) x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j}, j \neq i$$

Statistik G_i^* didefinisikan oleh jarak d , dimana unit area bisa dianggap sebagai tetangga i , bobot w_{ij} diberikan nilai 1 jika satuan luas j berada di dalam d , dan nilai 0 untuk sebaliknya. Dengan demikian maka matriks pembobotnya adalah matriks biner simetris, hanya saja hubungan ketetanggannya ditentukan oleh jarak d . Nilai G_i^* berkisar antara 0 dan 1, pengujian pada parameter G_i^* adalah sebagai berikut (Getis, 1991; Getis & Ord, 1992; Guerri *et al.*, 2021; Lanorte *et al.*, 2024),

$$Z(G) = \frac{G - E[G]}{\sqrt{Var[G]}}$$

dengan nilai harapannya adalah,

$$E[G(d)] = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}(d)}{n(n-1)}; j \neq i$$

sedangkan untuk variansnya adalah,

$$Var(G) = E(G^2) - [E(G)]^2$$

dimana,

$$E(G^2) = \frac{1}{(m_1^2 - m_2)^2 \cdot n(n-1)(n-2)(n-3)} (B_0 m_2^2 + B_1 m_4 + B_2 m_1^2 m_2 + B_3 m_1 m_3 + B_4 m_1^4)$$

$$m_j = \sum_{i=1}^n x_i^j; j = 1, 2, 3, 4,$$

dan $n^{(r)} = n(n-1)(n-2)(n-3) \dots (n-r+1)$.

Koefisien B nya adalah,

$$B_0 = (n^2 - 3n + 3)S_1 - nS_2 + 3W^2$$

$$B_1 = -[(n^2 - n)S_1 - 2nS_2 + 3W^2]$$

$$B_2 = -[2nS_1 - (n+3)S_2 + 6W^2]$$

$$B_3 = 4(n-1)S_1 - 2(n+1)S_2 + 8W^2$$

$$B_4 = S_1 - S_2 + W^2$$

dengan, $S_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ij} + w_{ji})^2; j \neq i$

$$S_2 = \sum_{i=1}^n (w_{i \cdot} + w_{\cdot i})^2; w_{i \cdot} = \sum_{j=1}^n w_{ij}, j \neq i.$$

2.2.4 Standard Deviational Ellipse (SDE)

Standard Deviational Ellipse (SDE) adalah bentuk grafis dari data dua variabel acak yang menunjukkan sebaran data di sekitar titik pusat (mean). Ellips ini dibentuk

berdasarkan matriks kovarians yang menggambarkan hubungan linear antara kedua variabel tersebut dalam distribusi normal, SDE terdiri dari sebagian besar data di sekitar titik tengah. Semakin besar simpangan baku, maka semakin besar area ellips, hal ini menunjukkan penyebaran data yang lebih luas. Sumbu utama ellips menunjukkan arah di mana data paling banyak tersebar sedangkan panjang sumbu menunjukkan seberapa besar penyebaran data pada arah tersebut.

Matriks kovarians adalah matriks yang menggambarkan seberapa besar dua variabel acak berkorelasi dan seberapa besar penyebarannya. Misalnya, jika kita memiliki data X dan Y maka matriks kovarians memiliki formula sebagai berikut,

$$\Sigma = \begin{bmatrix} Var(X) & Cov(X, Y) \\ Cov(X, Y) & Var(Y) \end{bmatrix}$$

dimana,

Var(X): varians dari X

Var(Y): varians dari Y

Cov(X, Y): kovarians antara X dan Y

Langkah-langkah dalam menentukan SDE adalah pertama menentukan matriks kovarians, kemudian menghitung nilai eigen dan vektor eigen, nilai eigen digunakan untuk menentukan panjang sumbu ellips sedangkan vektor eigen menunjukkan arah sumbu utama dan sumbu minor dari ellips yang akan dibentuk. Langkah selanjutnya adalah menghitung sudut dan menentukan sumbu mayor dan sumbu minor serta sudut θ dari sumbu mayor terhadap sumbu X pada sistem koordinat. Besarnya sudut θ dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$\tan \theta = \frac{(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2) \pm \sqrt{(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2)^2 + 4(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i)^2}}{2 \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i}$$

dengan $\begin{pmatrix} \tilde{x}_i \\ \tilde{y}_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{pmatrix}$, sedangkan untuk persamaan kurva ellipsnya mengikuti persamaan berikut,

$$(\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2)^2 = \sigma_x^2 \tilde{x}^2 + 2\rho\sigma_x\sigma_y\tilde{x}\tilde{y} + \sigma_y^2 \tilde{y}^2$$

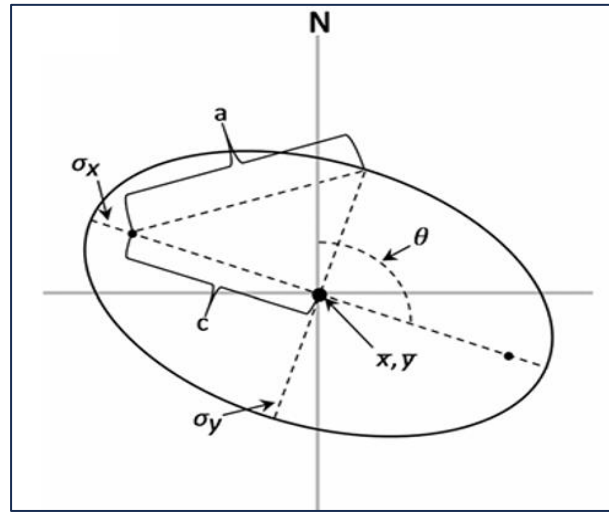
dimana ρ adalah koefisien korelasi antara koordinat x dan y (Wang *et al.*, 2015).

Koordinat ellips diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_{x'}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x'_i)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i \sin \theta + \tilde{x}_i \cos \theta)^2$$

$$\sigma_{y'}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y'_i)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i \cos \theta - \tilde{x}_i \sin \theta)^2$$

dengan gambar ilustrasi seperti pada Gambar 2.5,



Gambar 2.5 Contoh *Standard Deviation Ellipse*

dan untuk menentukan luas areanya adalah $A = \pi\sigma_x\sigma_y$ (Moore & McGuire, 2019).

SDE banyak digunakan dalam mengidentifikasi arah penyebaran data spasial, menunjukkan tingkat penyebaran data apakah menyebar luas atau terkonsentrasi pada titik tertentu. Selain itu SDE juga digunakan untuk menganalisis pola distribusi dalam suatu wilayah misalkan kepadatan penduduk atau perkembangan pemukiman, selain itu dapat juga membantu mendeteksi anomali atau perubahan pola dalam analisis temporal.

2.3 Analisis *Emerging Hotspot*

Dinamika spasio-temporal di geospasial menjadi elemen penting untuk memahami perubahan fenomena dalam ruang dan waktu. Salah satu pendekatan analisis terkini yang menggabungkan aspek spasial dan temporal adalah *Emerging Hot spot Analysis* (EHSA). Metode ini telah banyak diterapkan untuk mendeteksi dan memvisualisasikan tren, konsistensi, dan perubahan lokasi *hotspot* dan *coldspot* dari waktu ke waktu, baik dalam konteks urbanisasi, kriminalitas, perubahan penggunaan lahan, epidemiologi, hingga perubahan lingkungan (Gui *et al.*, 2024).

EHSA adalah metode statistik spasio-temporal yang dikembangkan oleh Esri dan, EHSA bekerja dengan menggunakan *Space-Time Cube* (STC), yakni struktur data 3 dimensi yang menyimpan informasi spasial dan temporal dalam bentuk grid atau bin (*cube*) (Mitchell, 2012; Ghanghermeh *et al.*, 2024). Setiap bin merepresentasikan suatu lokasi geografis pada waktu tertentu, dan berisi nilai atribut yang dianalisis seperti jumlah kejadian, intensitas, atau perubahan nilai.

EHSA menggabungkan dua komponen utama yaitu *Getis Ord Gi** dan *Mann Kendal test* dimana data digabungkan ke dalam bentuk kubus 3D, dengan sumbu X-Y menunjukkan lokasi (spasial) dan sumbu Z (vertikal) menunjukkan waktu (temporal). Setelah STC dibuat, EHSA menganalisis pola *hotspot* dan *coldspot* berdasarkan statistik Getis-Ord G_i^* dalam dimensi waktu dan ruang. Metode ini tidak hanya mengidentifikasi lokasi dengan konsentrasi tinggi (*hotspot*), tetapi juga mengevaluasi bagaimana pola tersebut berubah atau bertahan dari waktu ke waktu.

Statistik Getis-Ord G_i^* digunakan untuk setiap lokasi dan waktu, metode ini menghitung nilai *z-score* untuk menentukan apakah nilai di area tersebut merupakan *hot spot* (nilai tinggi signifikan) atau *cold spot* (nilai rendah signifikan) sedangkan analisis Tren (*Mann-Kendall Test*) digunakan untuk mengevaluasi perubahan pola *hot spot/cold spot* dari waktu ke waktu.

Proses EHSA dimulai dengan menyusun data spasial dengan atribut waktu, yang kemudian dimasukkan ke dalam STC menggunakan *Create Space-Time Cube*. Data kemudian dianalisis dengan *Emerging Hotspot Analysis*, yang akan mengklasifikasikan masing-masing bin dalam 17 kategori berdasarkan signifikansi spasio-temporal. Kategori-kategori tersebut antara lain: *New Hot spot*, *Consecutive*,

Intensifying, Persistent, Sporadic, Diminishing, Historical, hingga *No Pattern Detected*. Klasifikasi ini membantu dalam memahami apakah suatu fenomena berkembang, menurun, atau stabil di lokasi tertentu dalam kurun waktu analisis. Kategori hasil EHSA dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Keunggulan utama dari EHSA adalah kemampuannya dalam mengintegrasikan dimensi ruang dan waktu, serta mengklasifikasikan tren berdasarkan signifikansi statistik. EHSA sangat berguna dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis data karena mampu mengungkap tidak hanya di mana suatu fenomena terjadi, tetapi juga bagaimana dan kapan terjadi perubahan.

Namun EHSA juga memiliki keterbatasan. yaitu hasil EHSA sangat bergantung pada resolusi spasial dan temporal yang digunakan. Pemilihan ukuran grid (bin) dan interval waktu yang tidak sesuai dapat mengaburkan pola yang sebenarnya ada. Selain itu EHSA bekerja optimal pada data dengan jumlah waktu yang cukup panjang (minimal 10 interval) agar tren bisa dianalisis secara statistik. Keterbatasan lainnya adalah bahwa metode ini memerlukan pemahaman yang baik terhadap interpretasi statistik spasio-temporal agar tidak terjadi kesalahan tafsir (Harris *et al.*, 2017).

Pada konteks perencanaan wilayah dan pengelolaan sumber daya, EHSA sangat relevan karena dapat mengidentifikasi wilayah yang sedang berkembang atau mengalami tekanan. Misalnya, jika hasil EHSA menunjukkan pola *intensifying hot spot* dalam permukiman, maka perencanaan kota dapat merespons dengan pengembangan infrastruktur atau kebijakan pengendalian tata ruang. Sebaliknya, jika suatu wilayah mengalami *diminishing hot spot*, maka bisa jadi wilayah tersebut sedang mengalami stagnasi atau depopulasi dan memerlukan revitalisasi.

Tabel 2.1. Klasifikasi Hasil Analisis *Emerging Hotspot*

No	Kategori	Interpretasi
<i>Hotspot</i>		
1	<i>New Hotspot</i>	Baru muncul sebagai <i>hotspot</i> pada waktu terakhir
2	<i>Intensifying Hotspot</i>	Sudah lama menjadi <i>hotspot</i> dan kekuatannya makin meningkat.
3	<i>Persistent Hotspot</i>	Selalu menjadi <i>hotspot</i> di semua waktu dengan tingkat kepercayaan tinggi
4	<i>Consecutive Ho spot</i>	Sering muncul berurutan dalam waktu terakhir, tapi tidak sepanjang waktu
5	<i>Sporadic Hotspot</i>	Muncul sesekali sebagai <i>hotspot</i> namun tidak konsisten.
6	<i>Oscillating Hotspot</i>	Sering berganti antara <i>hotspot</i> dan <i>coldspot</i> .
7	<i>Historical Hotspot</i>	Dulu sering jadi <i>hotspot</i> , tapi tidak lagi di waktu terakhir
8	<i>Diminishing Hotspot</i>	Dulunya kuat sebagai <i>hotspot</i> , tapi melemah di waktu akhir
<i>Coldspot</i>		
9	<i>New Coldspot</i>	Baru muncul sebagai <i>cold spot</i> pada waktu terakhir
10	<i>Intensifying Coldspot</i>	Konsisten sebagai <i>coldspot</i> dan intensitasnya meningkat dari waktu ke waktu
11	<i>Persistent Coldspot</i>	Selalu menjadi <i>coldspot</i> dalam sebagian besar interval waktu
12	<i>Consecutive Coldspot</i>	Menjadi <i>coldspot</i> secara berurutan dalam beberapa waktu terakhir
13	<i>Sporadic Coldspot</i>	Kadang-kadang menjadi <i>coldspot</i> namun tanpa pola tertentu
14	<i>Oscillating Coldspot</i>	Berubah-ubah antara <i>hotspot</i> dan <i>coldspot</i>
15	<i>Historical Coldspot</i>	Dulu pernah menjadi <i>cold spot</i> namun sekarang tidak lagi
16	<i>Diminishing Cold spot</i>	Dulu sering menjadi <i>coldspot</i> tetapi makin jarang dalam waktu terakhir
<i>Nonsignificant</i>		
17	<i>No Pattern</i>	Tidak terdapat pola spasial temporal yang signifikan

2.4 Matriks Pembobot Spasial

Matriks pembobot spasial adalah sebuah matriks yang digunakan untuk menggambarkan hubungan spasial atau kedekatan antara objek geografis dalam suatu area tertentu. Matriks ini berperan penting dalam analisis spasial, dimana hubungan antar lokasi atau objek dipertimbangkan dalam memahami pola dan interaksi dalam ruang geografis.

Matriks pembobot spasial sering digunakan dalam analisis yang melibatkan faktor geografis, seperti distribusi titik, pola penggunaan lahan, penyebaran penyakit, atau analisis keterkaitan antar objek dalam sistem informasi geografis (SIG). Dengan kata lain, matriks ini menggambarkan bagaimana lokasi-lokasi yang satu berhubungan dengan lokasi lainnya, biasanya berdasarkan kedekatan geografis atau hubungan spasial lainnya.

Matriks pembobot digunakan untuk memodelkan deret ruang dan waktu dengan menerapkannya sebagai vektor *time series*, dimana komponen ke- i adalah lokasinya,

$$\begin{bmatrix} Z_{1,t} \\ Z_{2,t} \\ \vdots \\ Z_{n,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Time series untuk ruang 1} \\ \text{Time series untuk ruang 2} \\ \vdots \\ \text{Time series untuk ruang n} \end{bmatrix}$$

untuk mempelajari ketergantungan ruang dan waktu, dibutuhkan hubungan ketetanggaan berupa urutan spasial ketetanggaan yang menggambarkan suatu jarak, urutan tetangga pertama adalah yang lebih dekat dari tetangga urutan kedua, dan tetangga kedua yang lebih dekat dari tetangga ketiga dan seterusnya, sehingga dari rangkaian ini diperlukan suatu model yang mampu menggambarkan hubungan ketetanggaan.

Misalkan terdapat m lokasi sehingga $\mathbf{Z}_t = [Z_{1t}, Z_{2t}, \dots, Z_{nt}]'$ disebut sebagai vektor *time series* dengan n lokasi, berdasarkan hubungan spasialnya maka *time series* lokasi ke- i akan ditetapkan bobot yang sesuai yaitu $w_{i,j}^{(l)}$ dengan,

$$\sum_{j=1}^n w_{i,j}^{(l)} = 1$$

dimana,

$$w_{i,j}^{(l)} = \begin{cases} (0,1], & \text{jika lokasi } j \text{ adalah tetangga ke } -l \text{ dari } i \\ 0, & \text{untuk lainnya} \end{cases}$$

maka matriks bobot spasial untuk ketetanggaannya adalah $\mathbf{W}^{(l)} = [w_{(i,j)}^{(l)}]$ dengan $w_{i,j}^{(l)}$ adalah $n \times n$, dan jumlah barisnya akan sama dengan 1.

Pada data spasial berupa titik terdapat matriks bobot dengan kebalikan jarak, perhitungan matrik pembobot ini didasarkan pada jarak sebenarnya antar lokasi, yaitu dengan memberikan bobot yang lebih besar terhadap jarak yang lebih dekat dibandingkan dengan jarak yang jauh. Perhitungan jarak antara satu lokasi dengan lokasi lain dilakukan dengan koordinat lintang dan bujur dengan titik pengamatan. Misalkan terdapat sejumlah lokasi (n) dengan titik koordinat lintang dan bujur (u, v) sehingga $x_i(u_i, v_i)$ dengan x_i adalah lokasi ke- i maka jarak antar lokasi ke- i terhadap lokasi ke- j dapat dihitung sebagai berikut (Anselin, 2019), (Sarrias, 2020):

$$d_{ij} = \left([x_i(u_i) - x_j(u_j)]^2 + [x_i(v_i) - x_j(v_j)]^2 \right)^{1/2}$$

$$w_{ij}^* = w_{ji}^* = \frac{1}{d_{ij}} = \frac{1}{d_{ji}}$$

Sehingga bobot kebalikan jaraknya adalah

$$w_{ij} = \begin{cases} \frac{w_{ij}^*}{\sum_{j=1}^n w_{ij}^*}, & \text{untuk } i \neq j \\ 0, & \text{untuk } i = j \end{cases}.$$

2.5 Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan metode statistik yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara satu variabel dependen (terikat) dan satu atau lebih variabel independen (bebas). Metode ini tidak hanya digunakan dalam ilmu statistika murni, tetapi juga dalam berbagai disiplin ilmu seperti ekonomi, pendidikan, teknik, lingkungan, dan ilmu sosial.

Regresi digunakan untuk menjelaskan pengaruh, prediksi, dan hubungan antar variabel. Misalnya, dalam kajian ekonomi, regresi digunakan untuk mengetahui pengaruh pendapatan terhadap konsumsi, atau dalam lingkungan, untuk

mengetahui pengaruh suhu terhadap perubahan tutupan lahan. Namun, agar hasil analisis regresi valid secara statistik, maka diperlukan pengujian asumsi-asumsi klasik yang menyertainya.

Menurut Tranmer *et al.*, (2020), regresi linear sederhana yang terdiri dari dua variabel dengan satu variabel *independent* (X) dan satu variabel *dependent* (Y). Model matematisnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

dengan,

Y : variabel *dependent*/terikat

X : variabel *independent*/bebas

β_0 : Koefisien (*intercept*)

β_1 : Koefisien regresi

ε : galat.

Estimasi parameter β_0 dan β_1 biasanya dilakukan dengan metode kuadrat terkecil (*Ordinary Least Square*/OLS), yang meminimalkan jumlah kuadrat selisih antara nilai observasi dan nilai prediksi. Jika melibatkan lebih dari satu variabel bebas, maka digunakan model regresi linear berganda, model ini banyak digunakan ketika fenomena yang diamati dipengaruhi oleh banyak faktor. Model matematis regresi linear berganda dirumuskan sebagai berikut,

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

atau dapat ditulis dalam bentuk matriks,

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

dengan

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

dimana,

y : vektor variabel terikat berukuran $n \times 1$

X : matriks variabel bebas $n \times k$

β : vektor koefisien regresi $n \times 1$

ε : vektor error/residual

Koefisien regresi (β_0) menunjukkan perubahan rata-rata variabel dependen untuk setiap satu unit perubahan variabel *independent*, dengan asumsi variabel lainnya tetap. Ukuran yang digunakan untuk menilai kebaikan model regresi antara lain koefisien determinasi (R^2), nilai ini diperoleh dari hasil pembagian antara *sum of squares regression* dengan *total sum of squares*, atau 1 dikurang hasil *pembagian sum of square error* dengan *Total sum of squares*, nilai R^2 ini berkisar antara 0 hingga 1. Semakin besar nilainya maka akan semakin baik model dalam menjelaskan variasi Y. sedangkan untuk menguji signifikansi model secara keseluruhan dapat menggunakan uji F, dan untuk menguji apakah variabel bebas secara individual berpengaruh terhadap variabel terikat maka dapat menggunakan uji parsial.

Hasil regresi yang valid secara statistika harus memenuhi asumsi-asumsi klasik, asumsi tersebut antara lain,

1. Normalitas, asumsi ini menyatakan bahwa residual harus berdistribusi normal, uji normalitas dapat menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov (Masey, *et al*, 2016), uji Shapiro-wilk, histogram dan Q-Q plot.
2. Homoskedastisitas, asumsi ini menyatakan bahwa ragam error harus konstan atau homoskedastisitas untuk semua nilai variabel bebas, uji homoskedastisitas menggunakan uji glejser, uji breusch-pagan, scatterplot antar residual dan nilai prediksi (Machado & Santos Silva, 2000), (Ilori & Tanimowo, 2022). Dan untuk uji Glejser mengikuti persamaan,

$$|e_i| = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i$$

3. Autokorelasi, artinya tidak diperbolehkan terdapat korelasi antar residual dari waktu ke waktu, terutama untuk data *time series*. Uji ini menggunakan uji durbin-watson.

4. Multikolinearitas, asumsi ini menyatakan bahwa tidak boleh terdapat korelasi tinggi antar variabel bebas. Asumsi ini menggunakan nilai VIF (*Variance inflation factor*), jika nilai VIF lebih dari 10 maka terjadi multikolinear (Akinwande *et al.*, 2015; Shrestha, 2020).

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2}$$

Analisis regresi merupakan alat yang sangat baik untuk memahami hubungan antar variabel, tetapi keberhasilannya sangat bergantung pada pemenuhan asumsi klasik. Oleh karena itu, sebelum menarik kesimpulan dari hasil regresi, penting untuk melakukan uji asumsi klasik secara menyeluruh terlebih dahulu. Pemodelan regresi tidak hanya mencakup pemodelan saja, tetapi juga interpretasi, pengujian, dan penyesuaian model bila terjadi pelanggaran asumsi.

2.6 Analisis Data Panel Dinamis

Data panel dinamis merupakan bentuk data panel yang tidak hanya menggabungkan dimensi lintas entitas (*cross-section*) dan waktu (*time series*), tetapi juga memasukkan *lag* dari variabel *dependent* sebagai salah satu prediktor dalam model. Dalam banyak studi ekonomi, sosial, dan kependudukan, kondisi masa lalu suatu variabel sangat memengaruhi kondisi saat ini, sehingga penggunaan *lag* dari variabel *dependent* menjadi penting. Pada model data panel dinamis variabel bebas masa lalu (*lagged dependent variable*) digunakan sebagai variabel bebas, sehingga persamaan regresinya dapat ditulis sebagai:

$$Y_{it} = \alpha + \rho Y_{i,t-1} + \beta X_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

dimana,

Y_{it} : variabel terikat

$\rho Y_{i,t-1}$: lag dari variabel terikat

β : koefisien variabel prediktor

X_{it} : variabel bebas

μ_i : effect individual (*fixed/random effect*)

ε_{it} : galat

dengan, $i = 1, 2, \dots, N$ dan $t = 1, 2, \dots, T$

Salah satu tantangan utama dalam model panel dinamis adalah endogenitas, terutama karena adanya korelasi antara $Y_{i,t-1}$ dan μ_i . Untuk mengatasi hal ini, digunakan metode estimasi khusus, Arellano dan Bond pada Tahun 1991 menggunakan pendekatan *Generalized Method of Moments* (GMM) pada model diferensiasi pertama (*first-difference*) untuk menghilangkan efek individual tak teramati dan menggunakan *lag* dari variabel sebagai instrumen. Selain itu dapat menggunakan *Arellano and Bover / Blundell and Bond Estimator (System GMM)* dimana model ini menggabungkan persamaan dan level untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi bias, terutama ketika T kecil dan N besar (Ao, 2007; Piper, 2023; Kibbee & Jacoby, 2024).

Metode pendugaan GMM ini menjadi sebuah model pendugaan yang tidak bias, konsisten dan efisien dan berikut hasil pendugaannya,

$$\begin{bmatrix} \hat{\rho} \\ \hat{\beta} \end{bmatrix} = \left[\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta y_{i,t-1}, \Delta x_i)' \mathbf{z}_i \right) \widehat{\mathbf{W}} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{z}_i' (\Delta y_{i,t-1}, \Delta x_i) \right) \right]^{-1} \\ \left[\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta y_{i,t-1}, \Delta x_i)' \mathbf{z}_i \right) \widehat{\mathbf{W}} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{z}_i' (\Delta y_i) \right) \right]$$

dimana,

\mathbf{Z}_i : Matriks instrument yang valid

$\widehat{\mathbf{W}}$: Estimasi tidak bias dan konsisten untuk $\mathbf{W}_{(L \times L)}$, dengan L adalah jumlah variabel instrument.

GMM untuk data panel dinamis sangat cocok diterapkan dalam studi yang menggunakan data multiwilayah dalam waktu panjang, seperti pendidikan, kesehatan, dan kependudukan. Karena mampu mengakomodasi dinamika waktu dan dapat menangkap pengaruh masa lalu terhadap kondisi sekarang, selain itu GMM juga mampu mengurangi bias karena mengontrol *fixed effect* dan lebih

efisien dibandingkan *cross-section* atau *time-series* biasa (Roodman, 2009; Shin, 2014; Kalan & Gokasar, 2020).

2.7 Kepadatan dan Pemukiman Penduduk

2.7.1 Kepadatan Penduduk

Kepadatan penduduk (*population density*) adalah ukuran jumlah penduduk yang tinggal dalam suatu wilayah per satuan luas, umumnya dinyatakan dalam jiwa/km². Konsep ini digunakan untuk memahami sebaran dan tekanan penduduk terhadap ruang serta sumber daya yang tersedia. Kepadatan penduduk tidak hanya menjadi indikator demografi, tetapi juga berkaitan erat dengan isu-isu seperti urbanisasi, perumahan, transportasi, dan keberlanjutan lingkungan. Kepadatan yang tinggi dapat mendorong efisiensi penggunaan lahan, tetapi juga berisiko terhadap *over-population* dan degradasi kualitas hidup (Poston, Jr. & Bouvier, 2018).

Berbagai faktor yang mempengaruhi tingkat kepadatan penduduk menurut Glaeser, (2010) dan Wang, *et al.*, (2023) antara lain:

1. Faktor alam yaitu topografi, iklim, ketersediaan air dan lahan subur memengaruhi konsentrasi penduduk. Daerah yang kondisinya iklim tropis sedang, akses terhadap air mudah, tanahnya subur dan dataran rendah cenderung lebih padat penduduknya, dan sebaliknya jika suatu daerah memiliki topografi curam, iklim ekstrim dan risiko bencana tinggi biasanya memiliki kepadatan yang rendah.
2. Faktor sosial dan ekonomi dimana akses pekerjaan, pendidikan, serta infrastruktur mendorong konsentrasi di kota-kota. Pertumbuhan alami penduduk (kelahiran minus kematian), struktur umur, tingkat pendidikan, dan budaya memengaruhi tingkat kepadatan, kawasan dengan struktur umur muda dan fertilitas tinggi cenderung lebih padat. Sedangkan untuk faktor ekonomi wilayah yang memiliki lebih banyak peluang kerja, kegiatan ekonomi intensif dan pusat industri akan menarik migrasi dan menyebabkan konsentrasi penduduk, urbanisasi karena faktor ekonomi juga mendorong pertumbuhan pemukiman menjadi lebih padat (Klaesson *et al.*, 2021). Selain itu ketersediaan infrastruktur dasar seperti jalan, transportasi, air bersih,

listrik, sekolah, dan fasilitas kesehatan turut mendorong orang bermukim dalam suatu wilayah, terutama di kota-kota besar.

3. Kebijakan dan perencanaan merupakan regulasi tata ruang, perumahan, dan zonasi menentukan penyebaran penduduk, kebijakan pemerintah mengenai perencanaan ruang, perumahan, zonasi, dan pengembangan infrastruktur sangat memengaruhi sebaran penduduk. Kawasan dengan peraturan ketat zonasi dan pembangunan vertikal bisa lebih padat dibanding zona sub-urban (Goytia & Pasquini, 2024).

Kepadatan tinggi sering terjadi di wilayah perkotaan akibat proses urbanisasi, migrasi, dan pembangunan ekonomi terpusat. Di sisi lain, wilayah rural atau daerah yang secara fisik tidak mendukung pemukiman memiliki kepadatan rendah. Urbanisasi secara langsung berhubungan dengan meningkatnya kepadatan penduduk. Menurut laporan UN-Habitat (Report, 2020), 56% populasi dunia tinggal di kawasan urban pada 2020, dan angka ini diperkirakan meningkat menjadi 68% pada 2050. Kota-kota besar seperti Mumbai, Jakarta, Lagos, dan Manila menunjukkan fenomena *hyper-density*, di mana jumlah penduduk melebihi kapasitas infrastruktur dan ruang. Fenomena ini menyebabkan munculnya permukiman informal yaitu tekanan pada pelayanan dasar (air, sanitasi, transportasi) serta menurunnya kualitas lingkungan hidup.

Kepadatan penduduk memiliki dampak positif dan negatif tergantung pada konteks pengelolaan dan perencanaan, dampak positif antara lain (Jenks *et al.*, 1996),

- Meningkatkan efisiensi penggunaan infrastruktur dan transportasi publik.
- Mendorong pertumbuhan ekonomi melalui aglomerasi industri dan jasa.
- Mendukung keberlanjutan lingkungan dengan membatasi urban sprawl.

Sedangkan dampak negatifnya antara lain,

- *Overcrowding* dan tekanan pada fasilitas umum.
- Meningkatnya polusi udara dan limbah.
- Risiko kesehatan dan penyebaran penyakit menular.

Tingginya kepadatan penduduk sering dikaitkan dengan penurunan kualitas hidup jika tidak diimbangi dengan pelayanan dasar yang memadai. Studi oleh Neuman (2005) menyatakan bahwa kota yang padat namun dirancang dengan prinsip *walkability*, *mixed-use zoning*, dan ruang hijau tetap mampu memberikan kualitas hidup tinggi. Sebaliknya, kota dengan padat penduduk tetapi penuh segregasi, tidak terencana, dan minim ruang publik cenderung memunculkan tekanan sosial dan lingkungan (Chan, 2020).

Kepadatan penduduk adalah indikator penting dalam studi pembangunan, perencanaan kota, dan kebijakan ruang. Tingkat kepadatan yang terlalu tinggi dapat menjadi beban bagi lingkungan dan infrastruktur jika tidak ditangani secara cerdas, namun kepadatan yang dirancang dengan baik justru dapat mendorong keberlanjutan dan efisiensi. Pendekatan interdisipliner dan spasial sangat penting untuk memahami dinamika kepadatan, serta merancang strategi perencanaan yang adil, tangguh, dan inklusif.

2.7.2 Pemukiman Penduduk

Pemukiman menurut UNHCR adalah sebuah lingkungan tempat tinggal rumah tangga atau suatu tempat berlindung bagi sebuah rumah tangga atau keluarga. Pemukiman manusia merupakan lanskap terstruktur suatu wilayah termasuk didalamnya kebutuhan penduduk, ketersediaan dan alokasi sumber daya, dinamika ekonomi, perbaikan kondisi kehidupan, penyediaan layanan dan peningkatan jaringan transportasi serta ruang rekreasi.

Pemukiman manusia mencakup sistem tempat tinggal yang dirancang untuk mendukung kehidupan meliputi hunian, fasilitas dan infrastruktur. Pemukiman adalah sistem spasial yang terdiri dari lima elemen manusia, masyarakat, jaringan, alam, dan cangkang buatan (*built environment*) (Pacif & Iii, 1986; ; Jochem *et al.*, 2021). Hubungan dinamis antara elemen-elemen ini membentuk struktur dan pola permukiman, baik dalam skala mikro berupa kampung/desa maupun makro berupa kota/metropolitan.

Pemukiman dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai aspek, antara lain berdasarkan lokasi geografis yang terdiri dari pemukiman perkotaan (*urban*) dan

pemukiman pedesaan (*rural*). Berdasarkan legalitas pemukiman dibedakan atas pemukiman formal yaitu pemukiman yang sesuai dengan peraturan tata ruang dan hukum pertanahan, sedangkan pemukiman informal adalah pemukiman yang berkembang tanpa perencanaan resmi dan kadang berada di atas tanah ilegal (Labbé & Sorensen, 2020). Untuk kepadatan pemukiman dapat diklasifikasikan berdasarkan kepadatan rendah, kepadatan sedang dan kepadatan tinggi.

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi pembentukan dan perkembangan pemukiman antara lain (Report, 2020):

1. Faktor fisik yaitu ketersediaan lahan, topografi, air, dan iklim.
2. Faktor sosial-ekonomi berupa kepadatan penduduk, pekerjaan, pendidikan, dan status ekonomi.
3. Faktor politik dan kebijakan merupakan regulasi tata ruang, kebijakan perumahan, dan kontrol penggunaan lahan.
4. Faktor historis dan budaya adalah pola permukiman tradisional yang diwariskan antargenerasi.

Pemukiman merupakan representasi dari hubungan antara manusia dan ruang. Sebagai bentuk intervensi manusia terhadap lingkungan, pemukiman berkembang berdasarkan kebutuhan, nilai sosial, budaya, ekonomi, dan dinamika lingkungan fisik. Studi mengenai teori pemukiman telah menjadi fokus dalam berbagai disiplin seperti geografi, perencanaan kota, sosiologi, dan arsitektur. Teori-teori pemukiman menjelaskan pola, proses, dan faktor yang memengaruhi terbentuknya suatu kawasan hunian. Pemahaman teori ini penting sebagai dasar untuk menganalisis pertumbuhan kota, perubahan tata guna lahan, hingga perumusan kebijakan pembangunan berkelanjutan. Beberapa teori mengenai pemukiman (Lobo *et al.*, 2020; Verschure, 2021) antara lain:

1. Teori *Ekistics*

Salah satu pendekatan teoritis paling berpengaruh dalam studi pemukiman adalah teori *Ekistics* yang diperkenalkan oleh Constantinos A. Doxiadis pada Tahun 1968. *Ekistics* adalah ilmu tentang pemukiman manusia dan

interaksinya dengan unsur lingkungan seperti manusia, masyarakat, jaringan, alam, dan cangkang buatan (*shell*). Doxiadis menyatakan bahwa permukiman adalah sistem hidup yang harus tumbuh secara harmonis dengan skala dan struktur yang sesuai dengan kebutuhan manusia. Ekistics menggarisbawahi pentingnya keseimbangan antara lingkungan alami dan buatan. Dalam konteks ini, permukiman bukan sekadar akumulasi rumah, tetapi sistem kompleks yang harus dirancang dan dikelola dengan pendekatan sistemik.

2. Teori *Concentric Zone*

Teori ini dikembangkan oleh Ernest W. Burgess pada Tahun 1925 sebagai bagian dari studi sosiologi kota Chicago. Model ini membagi wilayah kota menjadi lima zona konsentris berdasarkan fungsi dan karakteristik sosial-ekonomi, yaitu:

- 1) Zona pusat bisnis
- 2) Zona transisi (kota dengan permukiman kumuh)
- 3) Zona permukiman buruh
- 4) Zona permukiman kelas menengah
- 5) Zona komuter (pinggiran)

Menurut Burgess, ekspansi kota cenderung radial ke luar dari pusat kota, dan tiap zona berkembang mengikuti proses invasi dan suksesi. Model ini banyak digunakan untuk menjelaskan distribusi spasial permukiman dan segmentasi sosial dalam kota industri Barat.

3. Teori *Central Place*

Teori ini dikembangkan oleh Walter Christaller pada Tahun 1933 untuk menjelaskan struktur spasial permukiman dalam kaitannya dengan fungsi pelayanan. Inti dari teori ini adalah bahwa permukiman tumbuh dalam bentuk hierarki sentra pelayanan (*central places*), di mana permukiman dengan fungsi lebih tinggi seperti kota besar melayani wilayah yang lebih luas dibandingkan permukiman kecil (desa). Christaller mengasumsikan bahwa permukiman

tersebar merata di ruang datar, dan penduduk memiliki akses yang sama terhadap jasa. Hasil dari teori ini adalah pola heksagonal dalam persebaran permukiman, yang hingga kini menjadi dasar dalam perencanaan wilayah.

4. Teori *Multiple Nuclei*

Berbeda dari Burgess dan Christaller, Chauncy Harris dan Edward Ullman pada Tahun 1945 menyatakan bahwa kota berkembang tidak hanya dari satu pusat (CBD), tetapi dari berbagai inti (*nuclei*) aktivitas. Setiap inti memiliki fungsi tertentu, misalnya pusat industri, kawasan perdagangan, atau kawasan perumahan elit. Teori ini menunjukkan bahwa perkembangan permukiman dalam kota besar cenderung polisentris. Pola ini terlihat dalam kota-kota metropolitan saat ini yang memiliki banyak *sub-centers* sebagai respon terhadap mobilitas, ekonomi, dan zonasi lahan.

5. Teori *Bid Rent*

Dalam teori ini, William Alonso pada Tahun 1964 menjelaskan bahwa penggunaan lahan dalam kota ditentukan oleh kemampuan faktor ekonomi untuk membayar sewa tertinggi pada lokasi strategis seperti daerah dekat pusat kota. Pemukiman kelas atas cenderung berada di pinggiran, karena mereka dapat membayar transportasi yang lebih tinggi demi kualitas lingkungan lebih baik. Model ini menyajikan pendekatan ekonomi terhadap struktur permukiman. Dalam konteks ini, permukiman berkembang sebagai hasil dari kompetisi spasial antara berbagai jenis penggunaan lahan.

6. Teori *Urban Political Economy*

Pendekatan ini mengkritisi teori-teori sebelumnya yang terlalu deterministik dan teknis. Dalam urban *political economy*, perkembangan permukiman dilihat sebagai hasil dari konflik dan relasi kekuasaan, khususnya antara negara, sektor swasta, dan masyarakat. Misalnya, produksi ruang perkotaan melalui proyek real estate, gentrifikasi, dan penggusuran sering dipengaruhi oleh kepentingan kapitalis. Studi oleh David Harvey pada Tahun 1973 dan

Manuel Castells pada Tahun 1977 menjelaskan bahwa struktur permukiman sangat dipengaruhi oleh sistem ekonomi-politik global. Pemukiman bukan hasil dari permintaan alami, tapi bagian dari strategi akumulasi kapital.

7. Teori Pemukiman Informal dan *Global South*

Dalam konteks negara berkembang, banyak teori pemukiman formal gagal menjelaskan realitas pertumbuhan pemukiman informal. John Turner pada Tahun 1976 memperkenalkan konsep *self-help housing*, yakni pemukiman yang dibangun secara swadaya oleh masyarakat miskin. Pemukiman informal sering tumbuh di luar sistem hukum, namun berfungsi sebagai solusi nyata terhadap krisis perumahan. Pendekatan ini menekankan bahwa masyarakat lokal memiliki kapasitas untuk mengorganisasi ruang hidupnya sendiri jika diberi hak dan sumber daya.

Teori pemukiman sering kali dikombinasikan dengan pendekatan spasial modern, seperti penggunaan GIS, analisis jaringan jalan, dan model urban *growth simulation*. Teori pemukiman merupakan dasar konseptual penting dalam memahami bagaimana manusia menata ruang untuk hidup. Mulai dari pendekatan ekologis hingga politik-ekonomi, setiap teori memberikan pandangan yang berbeda dalam melihat proses urbanisasi, pembangunan, dan distribusi ruang. Teori-teori tersebut terintegrasi dengan data spasial, keberlanjutan, dan partisipasi masyarakat menjadi semakin penting dalam merancang sistem pemukiman yang adil dan adaptif terhadap perubahan zaman. Perkembangan pemukiman sering kali mengarah pada konversi lahan pertanian, hutan, atau ruang terbuka menjadi kawasan terbangun. Hal ini berdampak pada perubahan ekosistem, peningkatan risiko bencana, dan perubahan pola aliran air.

2.8 Penggunaan Lahan/*Landuse*

Penggunaan lahan adalah merupakan konsep penting dalam geografi, perencanaan wilayah, serta pengelolaan sumber daya alam. Secara umum, penggunaan lahan merujuk pada cara manusia memanfaatkan permukaan bumi untuk berbagai keperluan seperti permukiman, pertanian, kehutanan, industri, dan transportasi

(Lagopoulos, 2018). *Land use* berbeda dari *land cover*, yang lebih menggambarkan penutupan fisik permukaan bumi, seperti hutan, air, dan bangunan. menyatakan bahwa penggunaan lahan melibatkan interaksi antara aktivitas manusia dan lingkungan fisik, yang mencerminkan sistem sosial-ekonomi dan kebijakan pembangunan (Cui *et al.*, 2023). Perubahan penggunaan lahan sering kali terjadi akibat kebutuhan ekonomi, pertumbuhan penduduk, serta kebijakan pemerintah. Fenomena urbanisasi, deforestasi, dan intensifikasi pertanian merupakan contoh nyata dari dinamika penggunaan lahan.

Penggunaan lahan dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori utama yaitu,

1. Permukiman (*residential*) mencakup penggunaan lahan untuk rumah tinggal dan fasilitas pendukungnya.
2. Pertanian (*agricultural*) meliputi ladang, sawah, kebun, dan lahan peternakan.
3. Industri dan Perdagangan merupakan area yang digunakan untuk kegiatan manufaktur, gudang, dan pusat komersial.
4. Transportasi seperti jalan, rel kereta api, bandara, dan pelabuhan.
5. Rekreasi dan Ruang Terbuka termasuk taman kota dan lahan konservasi.
6. Hutan dan Alam adalah lahan yang digunakan atau dibiarkan sebagai hutan, semak belukar, atau daerah lindung.

Setiap klasifikasi mencerminkan fungsi sosial-ekonomi tertentu dalam tata ruang suatu wilayah, dan sistem klasifikasi *land use* sangat penting untuk pemetaan dan pemantauan perubahan penggunaan lahan melalui data penginderaan jauh. Perubahan penggunaan lahan (*land use change*) merupakan hasil dari dinamika sosial, ekonomi, dan lingkungan. Yang kesemuanya menjelaskan bahwa perubahan ini dapat terjadi karena faktor internal (misalnya pertumbuhan penduduk dan permintaan lahan) maupun eksternal (seperti investasi asing dan kebijakan agraria). Urbanisasi merupakan salah satu pendorong utama perubahan penggunaan lahan, yang menyebabkan konversi lahan pertanian menjadi area permukiman dan industri.

Di negara berkembang seperti Indonesia, perubahan penggunaan lahan sering kali tidak terencana dan menyebabkan degradasi lingkungan, hilangnya keanekaragaman hayati, dan bencana seperti banjir atau tanah longsor, oleh karena itu, pemantauan perubahan penggunaan lahan sangat penting untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah banyak digunakan untuk menganalisis perubahan *land use* dari waktu ke waktu (Weng, 2002; Floch & Le Saout, 2018). Data citra satelit, seperti Landsat dan Sentinel, dapat mengidentifikasi perubahan lahan dengan presisi tinggi dan membantu dalam pengambilan kebijakan berbasis spasial.

Penggunaan lahan sangat dipengaruhi oleh kombinasi faktor fisik, sosial dan kebijakan pemerintah (Agarwal *et al.*, 2002; Krawchenko & Tomaney, 2023) faktor tersebut antara lain:

1. Faktor fisik merupakan topografi, jenis tanah, iklim, dan ketersediaan air. Misalnya, lahan datar lebih mudah dikembangkan untuk permukiman dibandingkan lahan curam.
2. Faktor sosial ekonomi adalah pertumbuhan penduduk, pendapatan, harga tanah, dan kebijakan tata ruang. Misalnya, kota-kota besar mengalami tekanan tinggi terhadap konversi lahan karena permintaan hunian dan infrastruktur.
3. Kebijakan pemerintah dan regulasi adalah zonasi, peraturan penggunaan lahan, dan insentif fiskal atau investasi asing dapat mempercepat perubahan penggunaan lahan. Dalam banyak kasus, kebijakan agraria dan tata ruang memainkan peran penting.

Penggunaan lahan merupakan elemen fundamental dalam perencanaan wilayah dan kota. Tata guna lahan yang terintegrasi dengan pertimbangan ekologi dan sosial dapat menciptakan lingkungan yang layak huni, produktif, dan berkelanjutan dalam perencanaan perkotaan, zonasi penggunaan lahan digunakan untuk memisahkan fungsi-fungsi tertentu seperti industri dari pemukiman, atau untuk mempertahankan ruang terbuka hijau.

Perubahan penggunaan lahan, terutama dari vegetasi alami menjadi permukiman atau industri, berkontribusi signifikan terhadap degradasi lingkungan. Hal ini mencakup peningkatan emisi karbon, erosi tanah, dan hilangnya fungsi ekosistem. Menurut Ye dan Ming (2023) menyebutkan bahwa konversi lahan merupakan salah satu penyebab utama perubahan iklim global dan kehilangan keanekaragaman hayati. Di lain sisi penggunaan lahan yang tepat seperti pertanian konservasi, *green infrastructure*, atau *reforestasi* dapat memperbaiki kualitas lingkungan. Oleh karena itu, *land use planning* harus memperhatikan daya dukung dan daya tampung lingkungan.

2.9 Tutupan Lahan/Land Cover

Berbeda dengan penggunaan lahan tutupan lahan (*land cover*) merujuk pada karakteristik fisik dan biogeofisik permukaan bumi, seperti vegetasi alami, air, salju, tanah terbuka, dan permukiman buatan manusia. Definisi ini dibedakan dari "penggunaan lahan" (*land use*), yang lebih berkaitan dengan fungsi atau aktivitas manusia atas suatu lahan (Gregorio, & Jansen, 2000; Li *et al.*, 2023). Tutupan lahan merupakan penutup fisik dari permukaan tanah yang terlihat secara langsung, seperti hutan, padang rumput, lahan pertanian, badan air, dan area terbangun.

Tutupan lahan berperan penting dalam menentukan aliran energi dan materi antara biosfer dan atmosfer serta menjadi indikator utama dalam studi perubahan lingkungan global. Oleh karena itu, pemantauan dan pemetaan tutupan lahan menjadi sangat krusial dalam konteks perencanaan wilayah, konservasi, dan mitigasi perubahan iklim.

Tutupan lahan diklasifikasikan ke dalam berbagai kategori berdasarkan data penginderaan jauh dan sistem klasifikasi yang digunakan. Anderson pada Tahun 1976 (Xie & Huang, 2022) mengembangkan sistem klasifikasi yang populer, yang membagi tutupan lahan ke dalam beberapa kelas utama, antara lain,

1. Vegetasi alami terdiri dari hutan tropis, hutan gugur, padang rumput dan semak belukar.
2. Lahan pertanian meliputi ladang, sawah, perkebunan, dan tanaman semusim.
3. Lahan terbangun terdiri dari permukiman, kawasan industri, jalan raya.
4. Badan air merupakan sungai, danau, kolam dan laut.

5. Lahan terbuka dan tandus terdiri dari gurun, lahan berbatu dan pasir.

Klasifikasi ini sangat penting untuk menyusun data tutupan lahan secara sistematis agar dapat digunakan dalam analisis spasial seperti perbandingan antar wilayah atau antar waktu. Pemantauan tutupan lahan biasanya dilakukan menggunakan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Data citra satelit, seperti Landsat, MODIS, dan Sentinel-2, yang memungkinkan pengamatan multitemporal sehingga mampu mengamati tutupan lahan dalam jangka panjang dan wilayah yang luas.

Tutupan lahan sangat erat kaitannya dengan berbagai fungsi ekosistem, seperti pengaturan iklim, penyerapan karbon, penyimpanan air, dan pelestarian keanekaragaman hayati. Perubahan tutupan lahan dapat mengganggu fungsi-fungsi tersebut dan menimbulkan berbagai dampak negatif seperti deforestasi yang dapat mempercepat pemanasan global, mengurangi infiltrasi air, dan meningkatkan risiko banjir serta tanah longsor. Sementara itu, konversi lahan basah menjadi lahan pertanian dapat menyebabkan hilangnya habitat penting bagi burung air dan spesies langka (Davidson *et al.*, 2020). Urbanisasi yang tidak terkontrol mengarah pada ekspansi area terbangun dan hilangnya ruang terbuka hijau. Hal ini berdampak pada peningkatan suhu permukaan (*urban heat island*) dan penurunan kualitas udara dan air (Ullah *et al.*, 2019).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data

Pada penelitian ini digunakan pendekatan kuantitatif berbasis spasial-temporal, yang menekankan pada analisis data dalam ruang dan waktu. Oleh karena itu, jenis data yang diperlukan tidak hanya mencakup aspek spasial (lokasi dan bentuk wilayah), tetapi juga atribut non-spasial (karakteristik demografis atau statistik lainnya) serta informasi temporal untuk melihat perubahan dari waktu ke waktu. Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain,

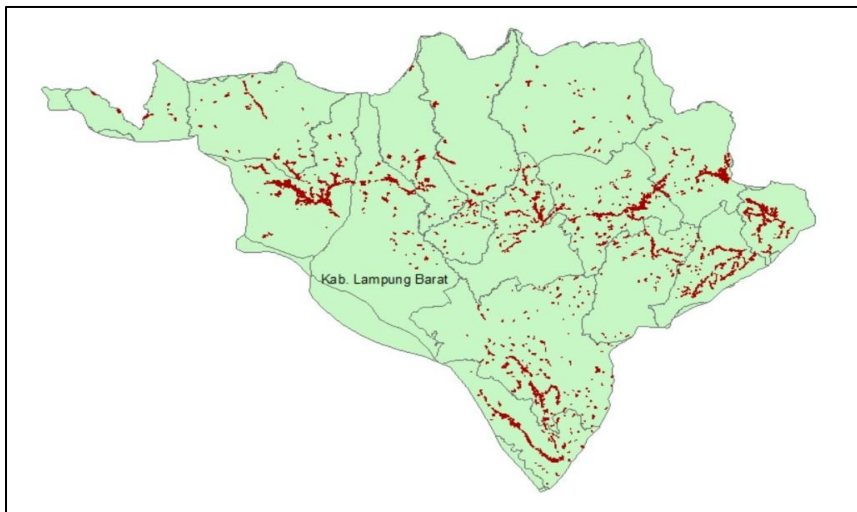
- a) Data spasial *polygon* merupakan data spasial yang merepresentasikan geografis dari permukaan bumi dalam bentuk koordinat dan geometri (titik, garis, atau poligon). Dalam penelitian ini digunakan data *polygon* permukiman, yaitu data spasial yang menggambarkan batas-batas wilayah permukiman di Provinsi Lampung. Data ini dikumpulkan dari Tahun 2013 hingga 2023 agar dapat dilakukan perbandingan dan analisis perubahan serta dinamika penyebaran permukiman. Format data spasial yang digunakan adalah *shapefile* (shp), yang merupakan format standar dalam Sistem Informasi Geografis (SIG). Sumber data diperoleh dari <https://earthengine.google.com/> (GEE) yang merupakan *platform* berbasis *cloud* untuk analisis geospasial skala besar yang dikembangkan oleh Google.
- b) Data atribut yang berkaitan seperti data topografi, jumlah penduduk, kepadatan penduduk, jumlah sekolah, jumlah industri, IPM dan lainnya diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Lampung.
- c) Data koordinat geografis dalam sistem proyeksi UTM Zona 48S, untuk memastikan keakuratan analisis spasial, seluruh data spasial yang digunakan harus berada dalam sistem koordinat yang seragam. Dalam penelitian ini

digunakan sistem koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*) Zona 48S, yang sesuai dengan letak geografis Provinsi Lampung (Wilayah Selatan Indonesia). Data dalam sistem proyeksi ini digunakan untuk pengukuran spasial seperti jarak antar titik menggunakan metode ANN, luas wilayah yang berkaitan dengan kepadatan, hingga bentuk dan arah sebaran dengan menggunakan SDE yang dilakukan dengan presisi tinggi.

Langkah-langkah dalam pengambilan data di GEE adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat akun *google earth engine* di <https://earthengine.google.com/>
- 2) Membuka GEE code Editor masuk ke dalam <https://code.earthengine.google.com/>
- 3) Kemudian menjalankan skrip *JavaScript* berbasis *cloud*
- 4) Menentukan dan menampilkan data *shapefile* dalam bentuk vektor data
- 5) Mengekspor data *shapefile*
- 6) Mendownload dan mengkonversi data

Contoh hasil peta data pemukiman penduduk yang telah diperoleh salah satunya adalah Kabupaten Lampung Barat, data tersebut berupa penggabungan data *shapefile* batas administrasi dan data pemukiman penduduk yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut,



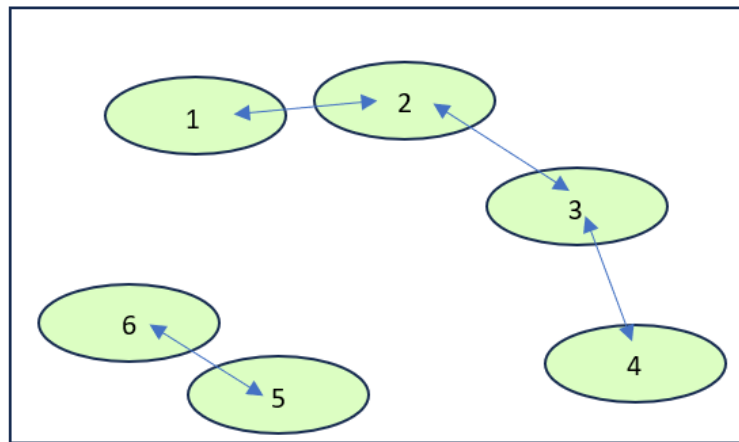
Gambar 3.1 Hasil GEE Kabupaten Lampung Barat

dari Gambar 3.1 di atas terlihat bahwa yang berwarna merah adalah pemukiman penduduk, dan yang berwarna hijau adalah wilayah non pemukiman.

3.2 Analisis Data Spasial

3.2.1 Pola Spasial Pemukiman Penduduk

Analisis ini menitikberatkan pada analisis pola spasial pemukiman penduduk Provinsi Lampung, pada tahap ini akan dilakukan analisis berupa *Spatial Pattern* dan *Autocorrelation Spatial* dengan cara menentukan data katupan dengan pola titik yang telah diproses, setelah itu ditentukan penomoran pada setiap titik *centroid* dan menentukan jarak titik *centroid* yang terdekat dengan *centroid* lain berupa garis lurus seperti pada Gambar 3.2 untuk menentukan bobot spasial, sehingga dapat dilakukan perhitungan indeks dengan menggunakan *spatial pattern* berupa indeks *Average Nearest Neighbor* nya dan *autocorrelation spatial* berupa indeks *Morans* dan indeks *Getis Ord Gi**.



Gambar 3.2 Penentuan Jarak Antar *Cenrtoid*

Ketentuan dalam pengambilan keputusan dari ketiga metode ini antara lain,

1) *Average Nearest Neighbor* (ANN)

Perhitungan ANN dengan interpretasi jika nilai $R < 1$ maka pola mengelompok (*clustered*), jika $R = 1$ membentuk pola acak dan jika nilai $R > 1$ maka membentuk pola menyebar (*dispersed*).

2) Indeks Morans

Perhitungan ini bertujuan untuk mengukur autokorelasi spasial dengan ketentuan jika $I > 0$ maka terdapat autokorelasi spasial positif (pengelompokan nilai tinggi dan rendah), jika $I < 0$ maka autokorelasi negatif (nilai tinggi dikelilingi nilai rendah dan sebaliknya) namun jika nilai $I \approx 0$ maka polanya acak.

3) Getis Ord G_i^*

Analisis ini melihat hasil perhitungan nilai G_i^* dengan memperhatikan nilai *z-score* dan *p-value*, jika nilai *z* tinggi dan *p-value* $< 0,05$ maka terjadi *hotspot* signifikan, dan sebaliknya.

3.2.2 Analisis *Standard Deviation Ellipse*

Metode ini menggambarkan arah penyebaran dan dominansi spasial dari kumpulan fitur dengan parameter berupa pusat distribusi (*centroid*), panjang sumbu utama dan sumbu minor, arah rotasi ellips yang menggambarkan arah ekspansi pemukiman dan mengamati perubahan posisi *centroid* antar tahun, analisis ini menggunakan *Tool Directional Distribution* pada *software ArcMap* untuk menganalisis SDE.

Langkah-langkah perhitungan SDE adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan titik pusat (*centroid*), titik pusat ini merupakan rata-rata posisi koordinat dari seluruh titik dalam data set.
- 2) Menghitung arah rotasi (θ) dengan rumus

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot S_{xy}}{S_{xx} - S_{yy}} \right)$$

dimana

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

hasil perhitungan θ adalah sudut rotasi ellips terhadap sumbu X dalam satuan radian.

- 3) Menghitung panjang sumbu mayor dan minor

Sumbu mayor (a) merupakan standar deviasi spasial sepanjang arah utama (θ) sedangkan sumbu minor (b) merupakan standar deviasi spasial tegak lurus arah utama. Cara menentukan sumbu mayor dan minor adalah memproyeksikan semua titik ke sumbu baru menggunakan rotasi θ dengan rumus

$$x'_i = (x_i - \bar{x})\cos \theta + (y_i - \bar{y})\sin \theta$$

$$y'_i = -(x_i - \bar{x})\sin \theta + (y_i - \bar{y})\cos \theta$$

lalu menghitung standar deviasi masing-masing sumbu,

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x'_i)^2}{n}}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y'_i)^2}{n}}$$

σ_x adalah panjang sumbu utama (mayor)

σ_y adalah panjang sumbu minor

Setelah memperoleh sumbu mayor dan sumbu minor selanjutnya adalah membentuk ellips, dengan interpretasi gambar jika ellips memanjang menunjukkan bahwa arah dominan menyebar, jika ellips simetris menunjukkan penyebaran merata ke segala arah, sedangkan perbandingan antara sumbu mayor dan minor menunjukkan tingkat konsentrasi.

3.2.3 Analisis *Emerging Hotspot*

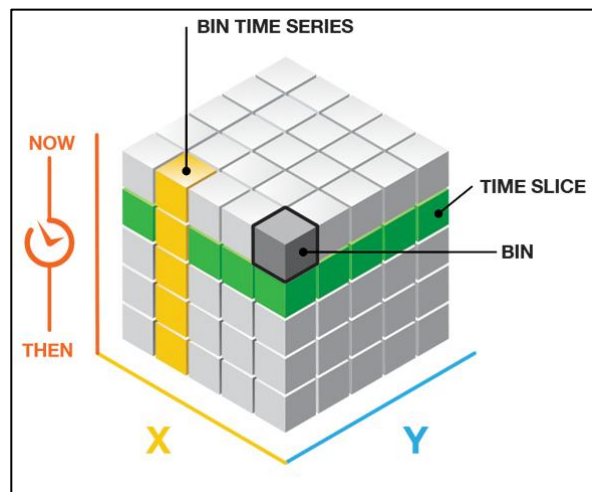
Analisis ini memanfaatkan *Space-Time Cube* (STC) dan algoritma statistik Getis-Ord G_i^* untuk mendeteksi lokasi-lokasi yang mengalami tren peningkatan atau penurunan dalam intensitas fenomena. Berikut adalah langkah-langkah analisis EHSA secara sistematis,

1. Pengumpulan dan Persiapan Data

Langkah awal adalah menyiapkan data spasial dan temporal, data ini dapat berupa titik kejadian (*event points*) yang memiliki atribut waktu. Data harus mencakup informasi lokasi berupa koordinat geografis atau *centroid* dari unit spasial dan informasi waktu (tahun kejadian), dalam penelitian ini data berbentuk poligon atau zona permukiman sehingga perlu dihitung *centroid* untuk digunakan sebagai titik representatif.

2. Pembuatan *Space-Time Cube*

Langkah selanjutnya adalah membangun *Space-Time Cube* (STC), STC adalah struktur data 3 dimensi, dengan sumbu X dan Y merepresentasikan lokasi spasial dan sumbu Z merepresentasikan waktu yang terbagi dalam *time step* yaitu interval waktu tetap berupa tahunan yaitu antara Tahun 2013 hingga 2023. Setiap *bin* dalam STC mencatat nilai dari fenomena tertentu pada lokasi dan waktu tersebut. Parameter penting dalam pembuatan STC meliputi ukuran sel spasial (*spatial bin size*) dengan grid pemukiman (1'), interval waktu (*temporal step*) adalah per tahun dan nilai agregasi (kepadatan pemukiman).



Gambar 3.3 Ilustrasi *Space Time Cube* (Sumber: Esri, 2024)

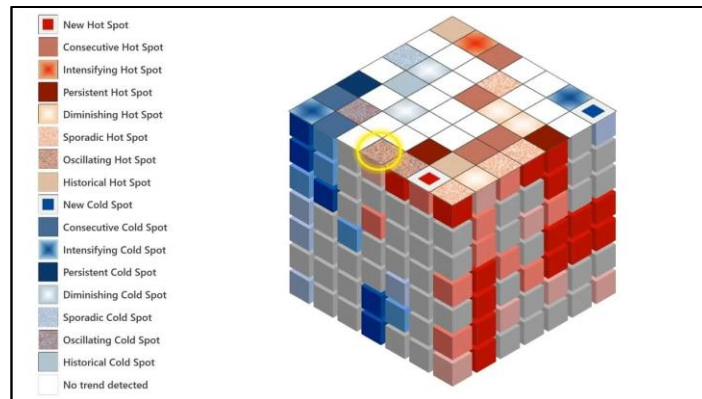
3. Analisis Getis Ord Gi*

Pada langkah ini telah dilakukan sebelumnya yaitu pada analisis pola spasial pemukiman penduduk.

4. Klasifikasi *Emerging Hotspot*

Setelah memperoleh STC dengan *agregation point* maka dilakukan klasifikasi *hotspot* dengan menghasilkan *layer* peta dengan simbol klasifikasi warna yang berbeda sesuai dengan zona *new hotspot*, *intensifying*, *sporadic*, *presisten* dll. Langkah selanjutnya adalah melakukan visualisasi hasil ke dalam bentuk peta tiga dimensi (3D) yang bertujuan untuk memudahkan dan memahami dinamika spasial maupun

temporal kepadatan pemukiman, serta mendukung pengambilan interpretasi atau keputusan.



Gambar 3.4 Ilustrasi Hasil Analisis *Emerging Hotspot* (Sumber: Esri, 2024)

5. Interpretasi Hasil

Langkah ini adalah menentukan penyebaran fenomena seperti menunjukkan ekspansi pemukiman baru atau area pemukiman yang mengalami stagnan maupun degradasi.

3.2.4 Analisis Perubahan Penggunaan Lahan

Langkah-langkah ini mencakup tahapan dari pengumpulan data hingga interpretasi hasil, yang bertujuan untuk membandingkan data penggunaan lahan dari Tahun 2013 dan 2023.

1. Pengumpulan Data Citra dan Data Pendukung

Data yang dibutuhkan dalam analisis ini adalah data citra satelit *multitemporal* Landsat 8, peta penggunaan lahan (*land use/land cover*) Tahun 2013 dan 2023, peta administratif wilayah Provinsi Lampung, data pendukung seperti survei lahan, data kependudukan. Citra yang digunakan harus memiliki resolusi spasial dan temporal yang cukup untuk membedakan kelas penggunaan lahan secara jelas.

2. Praklasifikasi dan Koreksi Citra

Sebelum klasifikasi dilakukan, citra perlu diproses dengan melakukan koreksi geometrik dan atmosferik untuk menghilangkan distorsi,

pemotongan citra (*clipping*) sesuai batas wilayah studi, penyusunan komposit band untuk memudahkan interpretasi visual

3. Klasifikasi Penggunaan Lahan

Lakukan klasifikasi penggunaan lahan dari citra untuk masing-masing tahun. Metode klasifikasi bisa berupa klasifikasi *supervised* (*Random Forest*). Kelas penggunaan lahan yang umum meliputi permukiman, hutan, sawah, ladang/kebun, perairan, semak belukar, dan lahan kosong.

4. Validasi Klasifikasi

Lakukan validasi akurasi klasifikasi dengan menggunakan data referensi (*ground truth*), *Confusion matrix* atau nilai akurasi total dan kappa minimal 85% disarankan untuk hasil yang baik.

5. *Overlay* dan Analisis Perubahan

Langkah utama analisis perubahan adalah dengan melakukan *overlay* atau perbandingan spasial antara dua peta hasil klasifikasi. Teknik yang digunakan adalah fungsi *Tabulate Area* atau *Zonal Statistics* untuk menghitung luas perubahannya. Selanjutnya adalah menggunakan statistik deskriptif untuk menghitung luas dan persentase perubahan antar kelas.

3.3 Analisis Pemukiman Penduduk Kota Bandar Lampung

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam analisis ini antara lain:

1. Pengumpulan data

Data yang digunakan dalam tahap ini adalah data kepadatan penduduk yang merupakan variabel terikat, sedangkan variabel bebas terdiri dari topografi, pertumbuhan penduduk, jumlah sekolah, jumlah fasilitas kesehatan, jumlah kelahiran, jumlah pernikahan, jumlah industri, kesemua data tersebut merupakan data Tahun 2023 yang diperoleh dari BPS.

2. Uji Asumsi

Uji asumsi klasik yang digunakan antara lain uji normalitas, uji muktikolinearitas, dan uji heteroskedastisitas.

3. Analisis Regresi linear

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk memperoleh model regresi linear berganda.

4. Interpretasi

Interpretasi dilakukan untuk mengetahui kebaikan model dengan melihat nilai R^2 , koefisien regresi dan uji signifikansi dengan uji F dan uji t.

3.4 Analisis Data Panel Dinamis Kepadatan Penduduk

Data dalam analisis data panel dinamis terdiri dari variabel terikat kepadatan penduduk, dan variabel bebas luas permukiman (X_1), jumlah penduduk (X_2), Indeks Pembangunan Manusia (IPM) (X_3) dan panjang jalan (X_4). Data yang digunakan antara Tahun 2013 hingga Tahun 2023 (11 Tahun), sumber data yang digunakan berasal dari BPS Provinsi Lampung dan hasil dari GEE yang terdiri dari 15 Kabupaten/Kota yang berada di Provinsi Lampung, sehingga total observasi sebanyak 165 data panel.

Langkah-langkah analisisnya antara lain:

1. Deskripsi Data

2. Pemilihan model

Estimasi pendugaan model panel dinamis adalah menggunakan pendekatan *first-difference GMM* (FD-GMM) *two step estimator*, dan *system GMM* (SYS-GMM) *two step estimator*, lalu membandingkan manakah model terbaiknya.

3. Uji Spesifikasi

Uji ini menggunakan uji Arellano-Bond dan Uji Sargen dan asumsi ketakbiasan, lalu dipilih model terbaiknya.

4. Penentuan Model dan Interpretasi

Setelah diperoleh model terpilih maka dilakukan interpretasi dengan melihat koefisien regresinya, uji signifikansi dengan melihat nilai *p-value*, dan interpretasi nilai ρ atau koefisien *lag* dari kepadatan. Jika semakin besar nilainya maka akan menunjukkan efek inersia tinggi artinya kepadatan masa lalu mempengaruhi kepadatan saat ini.

VII. KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pola permukiman penduduk menunjukkan konsentrasi spasial yang signifikan berdasarkan analisis Getis Ord G_i^* , dengan sebaran yang tidak acak melainkan terkonsentrasi pada wilayah tertentu. Arah dan kecenderungan penyebaran permukiman dapat diidentifikasi melalui analisis *Standard Deviational Ellipse* (SDE), yang menunjukkan pergeseran dominasi spasial dari waktu ke waktu. Sedangkan *Emerging Hotspot Analysis* (EHSA) berhasil mengungkap dinamika temporal dengan mengidentifikasi wilayah yang mengalami pertumbuhan permukiman secara intensif maupun penurunan aktivitas pembangunan. Secara keseluruhan, integrasi ketiga metode ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai dinamika spasial-temporal permukiman, yang dapat dijadikan dasar dalam perencanaan tata ruang dan pembangunan wilayah yang berkelanjutan.

Secara spesifik kesimpulan dari hasil penelitian diuraikan sebagai berikut:

1. Analisis pola permukiman penduduk di Provinsi Lampung menunjukkan tiga pola spasial utama, pola *low clusters* (menyebar) sebesar 33,3% yaitu Lampung Timur, Mesuji, Metro, Pesawaran, dan Tulang Bawang. Pola acak sebesar 26,7% terdapat di Bandar Lampung, Lampung Selatan, Lampung Tengah, dan Way Kanan, serta pola *high clusters* (mengelompok) 40% ditemukan di Lampung Barat, Lampung Utara, Pesisir Barat, Pringsewu, Tanggamus, dan Tulang Bawang Barat. Pola ini mencerminkan perbedaan tingkat konsentrasi permukiman akibat variasi kondisi geografis, aksesibilitas, dan perkembangan wilayah, yang penting untuk

dipertimbangkan dalam perencanaan tata ruang dan pembangunan berkelanjutan. Sedangkan untuk arah perkembangannya bervariasi.

2. Hasil analisis *emerging hotspot* Kota Bandar Lampung menunjukkan bahwa Kecamatan Kedaton, Way Halim, Rajabasa, dan Sukabumi mengalami pertumbuhan permukiman yang intensif, sementara Tanjung Senang, Sukabumi, dan Panjang berkembang sebagai kawasan suburban baru yang tumbuh pesat. Sebaliknya, Teluk Betung Barat dan Teluk Betung Selatan menunjukkan pembangunan sangat rendah, hal ini dikarenakan kondisi geografis atau status kawasan lindung. Kecamatan seperti Kemiling, Langkapura, dan Tanjung Karang Timur menunjukkan fluktuasi pembangunan yang memerlukan pengelolaan berkelanjutan.
3. Pada Kota Bandar Lampung faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kepadatan penduduk adalah laju pertumbuhan penduduk, jumlah sekolah, fasilitas kesehatan, kelahiran hidup, dan jumlah industri, hal ini menunjukkan bahwa faktor demografis dan fasilitas publik mempengaruhi tingkat kepadatan penduduk dengan nilai signifikansi F sebesar 0,003.
4. Hasil model pendugaan analisis panel dinamis menunjukkan bahwa variabel bebas seperti luas permukiman, jumlah penduduk, Indeks Pembangunan Manusia (IPM), dan panjang jalan berpengaruh signifikan terhadap kepadatan penduduk di Provinsi Lampung. Luas permukiman memiliki pengaruh negatif, yang mengindikasikan bahwa perluasan wilayah permukiman dapat menurunkan kepadatan jika pertumbuhan penduduk tidak melampaui laju ekspansi wilayah tersebut. Temuan ini menegaskan bahwa dinamika kepadatan penduduk dipengaruhi oleh faktor yang bersifat jangka panjang dan berkelanjutan.

7.2 Saran

Berikut beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yang dapat memperkuat dan memperluas hasil penelitian ini,

1. Variabel lain seperti tingkat urbanisasi, migrasi masuk/keluar, tingkat kemiskinan, dan penggunaan lahan non-permukiman dapat ditambahkan

agar dapat menangkap variasi pengaruh antar wilayah secara lebih akurat, dengan menggunakan Teknik analisis yang terbaru.

2. Melibatkan data longitudinal yang lebih panjang, misalnya selama 15–20 tahun, untuk menangkap dinamika perubahan struktural dan tren jangka panjang dengan lebih baik.
3. Mengevaluasi dampak kebijakan tata ruang atau pembangunan infrastruktur terhadap kepadatan penduduk, agar hasil penelitian dapat digunakan secara lebih aplikatif dalam perencanaan wilayah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulhafedh, A. (2017). A Novel Hybrid Method for Measuring the Spatial Autocorrelation of Vehicular Crashes: Combining Moran's Index and Getis-Ord G. *Open Journal of Civil Engineering*, **07**(02), 208–221.
<https://doi.org/10.4236/ojce.2017.72013>
- Adhiatma, R., Widiatmaka, dan Lubis, I. 2020. Perubahan dan Prediksi Penggunaan/penutupan Lahan di Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal of Natural Resource and Environmental Management*. **10**(2), 234-246.
<https://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.2.234-246>.
- Agarwal, C., Green, G. M., Grove, J. M., Evans, T. P., & Schweik, C. M. (2002). A Review and Assessment of Land-Use Change Models: Dynamics of Space, Time, and Human Choice. *Apollo The International Magazine Of Art And Antiques*, January, 62.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.86.2775&rep=rep1&type=pdf>
- Akinwande, M. O., Dikko, H. G., & Samson, A. (2015). Variance Inflation Factor: As a Condition for the Inclusion of Suppressor Variable(s) in Regression Analysis. *Open Journal of Statistics*, **05**(07), 754–767.
<https://doi.org/10.4236/ojs.2015.57075>
- Alali, D. W. Y. (2022). The Contribution of Education to Economic Development. *SSRN Electronic Journal*, **115614**, 1-15.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.4293524>
- Ansar, Z., & de Vries, W. T. (2024). Urban Sprawl Symptoms in Bandar Lampung Suburban Area, Indonesia. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*, **11**(2), 205–222.
<https://doi.org/10.14710/geoplanning.11.2.205-222>
- Anselin, L. (2019). A Local Indicator of Multivariate Spatial Association: Extending Geary's c. *Geographical Analysis*, **51**(2), 133–150.
<https://doi.org/10.1111/gean.12164>
- Ao, X. (2007). *Arellano-Bond Model*. 1–4. [https://www.hbs.edu/research-computing-services/Shared Documents/Training/arellano-bond.pdf](https://www.hbs.edu/research-computing-services/Shared%20Documents/Training/arellano-bond.pdf)
- Blundell, R., & Bond, S. (2023). Reprint of: Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, **234**, 38–55. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2023.03.001>
- Burrough, P.A., & McDonnell, R.Cone, J. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press. 360.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-7939.1998.tb02089.x>

- Chan, E. (2020). Public space as commodity: Social production of the Hong Kong waterfront. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Urban Design and Planning*, **173**(4), 146–155. <https://doi.org/10.1680/jurdp.19.00024>
- Chen, L., & Zhang, A. (2024). Identification of land use conflicts and dynamic response analysis of Natural-Social factors in rapidly urbanizing areas – a case study of urban agglomeration in the middle reaches of Yangtze River. *Ecological Indicators*, **161**(January), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112009>
- Cui, X., Li, F., & de Vries, W. T. (2023). Smart Land Use Planning: New Theories, New Tools and New Practice. *Land*, **12**(7), 1–6. <https://doi.org/10.3390/land12071315>
- Davidson, N., Dinesen, L., Fennessy, S., Finlayson, C., Mcinnes, R., Grillas, P., Mcinnes, R. B., Stroud, D., Davidson, N., Dinesen, L., Fennessy, S., Finlayson, C., & Mcinnes, R. (2020). Trends in the ecological character of the world ' s wetlands To cite this version. *Marine and Freshwater Research, CSIRO Publishing*, **71**(1), 1-16.
- Doxiadis, C. A. (1970). Ekistics, the science of human settlements. *Science*, **170**(3956), 393–404. <https://doi.org/10.1126/science.170.3956.393>
- Esri, 2024. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/space-time-pattern-mining/emerginghotspots.htm> [20 Juni 2024]
- Floch, J.-M., & Le Saout, R. (2018). Spatial econometrics - common models. *HANDBOOK OF SPATIAL ANALYSIS: Theory and Practical Application with R*, 149–177.
- Gregorio, A., and Jansen, L. J. M. (2000). *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual. Fao*, **53**(May), 179.
- Gao, P., Kasimu, A., Zhao, Y., Lin, B., Chai, J., Ruzi, T., & Zhao, H. (2020). Evaluation of the temporal and spatial changes of ecological quality in the Hami Oasis based on RSEI. *Sustainability (Switzerland)*, **12**(18).1-22. <https://doi.org/10.3390/su12187716>
- Getis, A. (1991). Spatial Interaction and Spatial Autocorrelation: A Cross-Product Approach. *Environment and Planning A: Economy and Space*, **23**(9), 1269–1277. <https://doi.org/10.1068/a231269>
- Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, **24**(3), 189–206. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x>
- Ghanghermeh, A., Roshan, G., Asadi, K., & Attia, S. (2024). Spatiotemporal Analysis of Urban Heat Islands and Vegetation Cover Using Emerging Hotspot Analysis in a Humid Subtropical Climate. *Atmosphere*, **15**(2).1-20. <https://doi.org/10.3390/atmos15020161>
- Glaeser, E. (2010). Urban economics. In *The Heart of Teaching Economics:*

Lessons from Leading Minds. <https://doi.org/10.12681/rp.18554>

- Gonçalves, A. B. (2021). Spatial analysis and geographic information systems as tools for sustainability research. *Sustainability (Switzerland)*, **13**(2), 1–3. <https://doi.org/10.3390/su13020612>
- Goytia, C., & Pasquini, R. (2024). An Empirical Analysis of Land Use Regulation Determinants. *SSRN Electronic Journal*.1-58. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4465153>
- Guerri, G., Crisci, A., Messeri, A., Congedo, L., Munafò, M., & Morabito, M. (2021). Thermal summer diurnal hot-spot analysis: The role of local urban features layers. *Remote Sensing*, **13**(3), 1–29. <https://doi.org/10.3390/rs13030538>
- Gui, B., Bhardwaj, A., & Sam, L. (2024). Revealing the evolution of spatiotemporal patterns of urban expansion using mathematical modelling and emerging hotspot analysis. *Journal of Environmental Management*, **364**(March), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121477>
- Guo, K., & Yuan, Y. (2022). Research on Spatial and Temporal Evolution Trends and Driving Factors of Green Residences in China Based on Weighted Standard Deviation Ellipse and Panel Tobit Model. *Applied Sciences (Switzerland)*, **12**(17), 1-21. <https://doi.org/10.3390/app12178788>
- Harris, N. L., Goldman, E., Gabris, C., Nordling, J., Minnemeyer, S., Ansari, S., Lippmann, M., Bennett, L., Raad, M., Hansen, M., & Potapov, P. (2017). Using spatial statistics to identify emerging hot spots of forest loss. *Environmental Research Letters*, **12**(2), 1-14. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5a2f>
- Hayakawa, K., Pesaran, M. H., & Smith, L. V. (2023). Short T dynamic panel data models with individual, time and interactive effects. *Journal of Applied Econometrics*, **38**(6), 940–967. <https://doi.org/10.1002/jae.2981>
- Hepworth, T. (2006). Geographic Information Systems. *Encyclopedia of Environmental Science and Engineering, Fifth Edition*, **1**(2), 425–426. <https://doi.org/10.1201/NOE0849398438-12>.
- Ibramsyah, R., Leksono, B. E., Perdana, A. M. P. 2020. Pola Persebaran Pasar di Kota Bandar Lampung Menggunakan Metode Nearest Neighbor Analysis. *Repository Institut Teknologi Sumatra*. https://repo.itera.ac.id/assets/file_upload/SB2009100016/23116094_20_133057.pdf
- Ilori, O. O., & Tanimowo, F. O. (2022). Heteroscedasticity Detection in Cross-Sectional Diabetes Pedigree Function: A Comparison of Breusch-Pagan-Godfrey, Harvey and Glejser Tests. *International Journal of Scientific and Management Research*, **05**(12), 150–163. <https://doi.org/10.37502/ijsmr.2022.51211>.
- Irham, R. I. & Putri, R.M. 2023. Kepadatan Penduduk terhadap Indeks Pembangunan Manusia di Provinsi Lampung, *MKG*. **24**(1), 91-100.

- Jay, L., Wiley, Jossey-Bass, Pfeiffer, Lasser, & Capstone. (2000). *Statistical Analysis with ArcView Gis*. John Wiley & Son Inc, Canada. 360.
- Jenks, M., Williams, K., & Burton, E. J. (1996). A Sustainable Future through the Compact City ? Urban Intensification in the United Kingdom. *Environments by Design Journal*, **1**(1), 5–23.
- Jochem, W. C., Leasure, D. R., Pannell, O., Chamberlain, H. R., Jones, P., & Tatem, A. J. (2021). Classifying settlement types from multi-scale spatial patterns of building footprints. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, **48**(5), 1161–1179.
<https://doi.org/10.1177/2399808320921208>
- Joubert, J. W. (2022). Accounting for population density in econometric accessibility. *Procedia Computer Science*, **201**(C), 594–600.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.03.077>
- Kalan, O., & Gokasar, I. (2020). A Dynamic Panel Data Approach for the Analysis of the Growth Impact of Highway Infrastructures on Economic Development. *Modern Economy*, **11**(03), 726–739.
<https://doi.org/10.4236/me.2020.113053>
- Keisuke, K. (2016). Introduction to Spatial Econometric Analysis: Creating spatially lagged variables in Stata Introduction to Spatial Econometric Analysis: Creating spatially lagged variables in Stata. *RIETI Technical Paper Series*, 16–17.
<http://www.rieti.go.jp/en/URL:https://sites.google.com/site/keisukekondokk/>
- Kibbee, J., & Jacoby, J. (2024). Methods and Practice. *Cultural Anthropology*, 42–63. <https://doi.org/10.5040/9798400634918.0007>
- Kim, K., & Brewer, S. C. (2020). Spatial Econometrics. *Advanced Quantitative Research Methods for Urban Planners*, 216–260.
<https://doi.org/10.4324/9780429325038-9>
- Klaesson, J., Öner, Ö., & Pennerstorfer, D. (2021). Getting the first job: Size and quality of ethnic enclaves and refugee labor market entry. *Journal of Regional Science*, **61**(1), 112–139. <https://doi.org/10.1111/jors.12504>
- Krawchenko, T., & Tomaney, J. (2023). The Governance of Land Use: A Conceptual Framework. *Land*, **12**(3), 1–11.
<https://doi.org/10.3390/land12030608>
- Kripfganz, S. (2019). *Introduction Difference GMM System GMM Nonlinear moments Further topics Model selection Summary Generalized method of moments estimation of linear dynamic panel data models*. London Stata Conference. <http://www.kripfganz.de/stata/>
- Kruk, M. E., Gage, A. D., Arsénault, C., Jordan, K., Leslie, H. H., Roder-DeWan, S., Adeyi, O., Barker, P., Daelmans, B., Doubova, S. V., English, M., Elorrio, E. G., Guanais, F., Gureje, O., Hirschhorn, L. R., Jiang, L., Kelley, E., Lemango, E. T., Liljestrand, J., ... Pate, M. (2018). High-quality health systems in the Sustainable Development Goals era: time for a revolution. *The*

Lancet Global Health, **6**(11), e1196–e1252.
[https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30386-3](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30386-3)

- Kurniawan, H. 2025. Pemkot Bakal perbaiki 13 Ruas Jalan di Metro Selatan,
<https://lampung.antaranews.com/berita/773993/pemkot-bakal-perbaiki-13-ruas-jalan-di-metro-selatan> [diakses: 5 Agustus 2025]
- Labbé, D., & Sorensen, A. (2020). Handbook of Megacities and Megacity-Regions. *Handbook of Megacities and Megacity-Regions, December*, 1–442.
<https://doi.org/10.4337/9781788972703>
- Lagopoulos, A. (2018). Clarifying Theoretical and Applied Land-Use Planning Concepts. *Urban Science*, **2**(1), 17.
<https://doi.org/10.3390/urbansci2010017>
- Lanorte, A., Nolè, G., & Cillis, G. (2024). Application of Getis-Ord Correlation Index (Gi) for Burned Area Detection Improvement in Mediterranean Ecosystems (Southern Italy and Sardinia) Using Sentinel-2 Data. *Remote Sensing*, **16**(16).1-21.
<https://doi.org/10.3390/rs16162943>
- Lastra-Anadón, C. X. (2019). *Population density and educational inequality : the role of public school choice*. Harvard University.
- Li, Z. L., Wu, H., Duan, S. B., Zhao, W., Ren, H., Liu, X., Leng, P., Tang, R., Ye, X., Zhu, J., Sun, Y., Si, M., Liu, M., Li, J., Zhang, X., Shang, G., Tang, B. H., Yan, G., & Zhou, C. (2023). Satellite Remote Sensing of Global Land Surface Temperature: Definition, Methods, Products, and Applications. *Reviews of Geophysics*, **61**(1), 1–77.
<https://doi.org/10.1029/2022RG000777>
- Lobo, J., Bettencourt, L. M. A., Smith, M. E., & Ortman, S. (2020). Settlement scaling theory: Bridging the study of ancient and contemporary urban systems. *Urban Studies*, **57**(4), 731–747.
<https://doi.org/10.1177/0042098019873796>
- Machado, J. A. F., & Santos Silva, J. M. C. (2000). Glejser's test revisited. *Journal of Econometrics*, **97**(1), 189–202.
[https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(00\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(00)00016-6)
- Maclean, R., Jagannathan, S., & Panth, B. (2018). Education and Skills for Inclusive Growth, Green Jobs and the Greening of Economies in Asia: Case Study Summaries of India, Indonesia, Sri Lanka and Viet Nam. *Technical and Vocational Education and Training*, **27**, 1–191. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6559-0_1

- Masey J. (2016). *The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit* Author (s): Frank J. Massey, Jr. Published by: Taylor & Francis, Ltd. on behalf of the American Statistical Association Stable. **46**(253), 68–78. URL : <http://www.jstor.org/stable/2280095>.
- Mitchell, A. (2012). Modeling suitability, movement, and interaction. In *The Esri Guide to GIS Analysis Volume 3*. ESRI PRESS.
- Miswar, D., Sugiyanta, I.G., Yarmaidi dan Yasta, R.D. Analisis Geospasial Perubahan Penggunaan Lahan Sawah Berbasis LP2B Kecamatan Pagelaran Utara, *Media Komunikasi Geografi*, **21**(2), 130-143, <http://dx.doi.org/10.23887/mkg.v2i2.27760>.
- Moore, T. W., & McGuire, M. P. (2019). Using the standard deviational ellipse to document changes to the spatial dispersion of seasonal tornado activity in the United States. *Npj Climate and Atmospheric Science*, **2**(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0078-4>
- Neuman, M. (2005). The compact city fallacy. *Journal of Planning Education and Research*, **25**(1), 11–26. <https://doi.org/10.1177/0739456X04270466>
- Pacif, N. D. T. H. E., & Iii, P. (1986). *Human Settlements Atlas for Asia and the Pacific Part Iii*.
- Piper, A. (2023). What Does Dynamic Panel Analysis Tell Us About Life Satisfaction? *Review of Income and Wealth*, **69**(2), 376–394. <https://doi.org/10.1111/roiw.12567>
- Poston, Jr, D. L., & Bouvier, L. F. (2018). An Introduction to Demography. *Population and Society, Soci* **312**, 3–16. <https://doi.org/10.1017/9781107337237.003>
- Report, (2020). *Unpacking the Value of Sustainable Urbanization*. <https://doi.org/10.18356/c41ab67e-en>
- Roodman, D. (2009). How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata. *Stata Journal*, **9**(1), 86–136. <https://doi.org/10.1177/1536867x0900900106>
- Rotella, A., Varnum, M. E. W., Sng, O., & Grossmann, I. (2021). Increasing Population Densities Predict Decreasing Fertility Rates Over Time: A 174- Nation Investigation. *American Psychologist*, **76**(6), 933–946. <https://doi.org/10.1037/amp0000862>
- Sarrias, M. (2020). *Lecture 1 : Introduction to Spatial Econometric*. Universidad de Talca.106.
- Shi, Y., Yang, J., & Shen, P. (2020). Revealing the correlation between population density and the spatial distribution of

urban public service facilities with mobile phone data.
ISPRS International Journal of Geo- Information, **9**(1), 1-17.
<https://doi.org/10.3390/ijgi9010038>

Shin, Y. (2014). *Dynamic Panel Data Workshop. June*. University of Melbourne. 167.

Shrestha, N. (2020). Detecting Multicollinearity in Regression Analysis. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, **8**(2), 39–42. <https://doi.org/10.12691/ajams-8-2->.

Suhairudin, Yuslina, Ragil, C. 2020. Pola Perkembangan Pemukiman di Kecamatan Kotabumi Lampung Utara.
<https://repository.itny.ac.id/id/eprint/3708/15/LAMPIRAN%20JURNAL.pdf>

Thompson, A. E., Walden, J. P., Chase, A. S. Z., Hutson, S. R., Marken, D. B., Cap, B., Fries, E. C., Piedrasanta, M. R. G., Hare, T. S., Horn, S. W., Micheletti, G. J., Montgomery, S. M., Munson, J., Richards-Rissetto, H., Shaw-Müller, K., Ardren, T., Awe, J. J., Brown, M. K., Callaghan, M., ... Chase, D. Z. (2022). Ancient Lowland Maya neighborhoods: Average Nearest Neighbor analysis and kernel density models, environments, and urban scale. In *PLoS ONE* . **17**(11), 1-36.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275916>

Tranmer, M., Murphy, J., Elliot, M., & Pampaka, M. (2020). Multiple Linear Regression (2nd Edition). *The Cathie Marsh Centre for Census and Survey Research (CCSR)*, **5**(5), 1–5.

Ullah, S., Tahir, A. A., Akbar, T. A., Hassan, Q. K., Dewan, A., Khan, A. J., & Khan, M. (2019). Remote sensing-based quantification of the relationships between land use land cover changes and surface temperature over the lower Himalayan region. *Sustainability (Switzerland)*, **11**(19), 1-16.
<https://doi.org/10.3390/su11195492>

Verschure, H. (2021). Lessons learned from 55 (Or more) years of professional experience in urban planning and development. *Urban Planning*, **6**(2), 218– 224.
<https://doi.org/10.17645/up.v6i2.3980>

Vomberg, A., & Wies, S. (2020). Handbook of Market Research. In *Handbook of Market Research*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05542-8>

Wang, B., Shi, W., & Miao, Z. (2015). Confidence analysis of standard deviational ellipse and its extension into higher dimensional Euclidean space. *PLoS ONE*, **10**(3), 1–17.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118537>

Wang, G., Peng, W., & Zhang, L. (2023). Estimate of population

density and diagnosis of main factors of spatial heterogeneity in the metropolitan scale, western China. *Heliyon*, **9**(6), 1-18.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16285>

- Wang, W. C., Chang, Y. J., & Wang, H. C. (2019). An application of the spatial autocorrelation method on the change of real estate prices in Taitung city. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **8**(6), 1-20. <https://doi.org/10.3390/ijgi8060249>
- Weng, Q. (2002). Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *Journal of Environmental Management*, **64**(3), 273–284. <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0509>
- Widiyatmoko, H. 2018. Analisis Faktor Pengaruh Komposisi Penduduk, aksesibilitas dan Sosial-ekonomi terhadap Kepadatan Penduduk di Kabupaten Klaten. <https://eprints.ums.ac.id/68931/12/11.%20naskah%20publikasi.pdf>
- Wulansari, D. I., Ghazali, M.F. & Armijon. (2023). Perubahan Distribusi Spasial Permukiman dan Relasinya terhadap Pertumbuhan Penduduk di Kota Bandar Lampung. *Geodika*. **7**(1), 11-22. <http://doi.org/10.29408/geodika.v7i1.6173>.
- Xie, H., & Huang, H. (2022). Classification of Land Cover Remote-Sensing Images Based on Pattern Recognition. *Scientific Programming*, **2022**, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2022/8319692>
- Xu, Y., Hao, S., Cui, Y., Li, P., Sheng, L., & Liao, C. (2023). Analysis of the spatiotemporal expansion and pattern evolution of urban areas in Anhui Province, China, based on nighttime light data. *Ecological Indicators*, **157**(April), 1-18.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111283>
- Ye, C., & Ming, T. (2023). Land use carbon emissions estimation and carbon emissions control strategy effect scenario simulation in Zhejiang province. *Heliyon*, **9**(11), 1-17.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20783>
- Yegorov, Y. A. (2009). Socio-economic influences of population density. *Chinese Business Review*, **08**(07), 1–12.
<https://doi.org/10.17265/1537-1506/2009.07.001>
- Zhang, W., Zhang, T., Fu, Z., Ai, P., Yao, G., & Qi, J. (2024). Emerging Spatio-temporal Hot Spot Analysis of Beijing Subsidence Trend Detection Based on PS-InSAR. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, **48**(1), 861–866.
<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-2024-861-2024>

- Zhang, Z., Sha, D., Dong, B., Ruan, S., Qiu, A., Li, Y., Liu, J., & Yang, C. (2020). Spatiotemporal patterns and driving factors on crime changing during black lives matter protests. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **9**(11), 1-19. <https://doi.org/10.3390/ijgi9110640>
- Zhao, Y., Wu, Q., Wei, P., Zhao, H., Zhang, X., & Pang, C. (2022). Explore the Mitigation Mechanism of Urban Thermal Environment by Integrating Geographic Detector and Standard Deviation Ellipse (SDE). *Remote Sensing*, **14**(14), 1-20. <https://doi.org/10.3390/rs14143411>
- Zhong, Y., Lin, A., & Zhou, Z. (2019). Evolution of the pattern of spatial expansion of urban land use in the poyang lake ecological economic zone. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **16**(1), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ijerph16010117>