

**ANALISIS SPASIAL TEMPORAL INDEKS KETAHANAN PANGAN MENGGUNAKAN
GEOGRAPHICALLY TEMPORALLY WEIGHTED REGRESSION DAN KLASTER FUZZY DI
NUSA TENGGARA TIMUR****Atiek Iriany**Departemen Statistika, Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
atiekiriany@ub.ac.id***Nabila Ayunda Sopia**Departemen Statistika, Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
nabilaayunda003@student.ub.ac.id**Wigbertus Ngabu**Prodi Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Kependidikan, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia
wigbertus.ngabu@lecturer.unri.ac.id**Danang Ariyanto**Program Studi Sains Aktuaria, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
danangariyanto@unesa.ac.id**Abstrak**

Ketahanan pangan di Indonesia masih menghadapi tantangan serius akibat ketimpangan sosial-ekonomi dan infrastruktur antarwilayah yang berfluktuasi antarperiode. Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) menjadi contoh nyata, dengan capaian Indeks Ketahanan Pangan (IKP) antar kabupaten/kota menunjukkan variasi signifikan pada periode 2018–2022. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh faktor sosial-ekonomi dan infrastruktur terhadap IKP dengan mempertimbangkan heterogenitas spasial-temporal. Metode yang digunakan adalah Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) untuk menangkap dinamika pengaruh variabel pada dimensi ruang dan waktu, serta Fuzzy C-Means untuk mengelompokkan wilayah berdasarkan pola pembangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Angka Partisipasi Sekolah (APS) berpengaruh negatif signifikan terhadap IKP, PDRB per kapita berpengaruh positif meskipun terbatas, akses air minum layak berfluktuasi, sedangkan rasio elektrifikasi konsisten berpengaruh positif signifikan. Analisis Fuzzy C-Means menghasilkan tiga klaster utama: (1) wilayah dengan APS sedang dan IKP relatif tinggi, (2) wilayah dengan APS tinggi namun IKP menengah hingga rendah, dan (3) wilayah dengan APS rendah dan IKP rendah yang merepresentasikan daerah tertinggal. Temuan ini menegaskan bahwa pembangunan di NTT masih menghadapi ketimpangan spasial-temporal, sehingga kebijakan tidak dapat bersifat seragam melainkan harus disesuaikan dengan karakteristik lokal.

Kata Kunci: GTWR, Indeks Ketahanan Pangan, Fuzzy C-Means, Spatiotemporal, Pembangunan Regional**Abstract**

Food security in Indonesia still faces serious challenges due to socioeconomic and infrastructure disparities between regions, which also fluctuate over time. East Nusa Tenggara (NTT) serves as a clear example, where the Food Security Index (IKP) achievements across regencies/municipalities show significant variation during the 2018–2022 period. This study aims to analyze the influence of socioeconomic and infrastructure factors on IKP by considering spatial-temporal heterogeneity. The methods employed are Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) to capture the dynamics of variable effects across space and time, and Fuzzy C-Means to classify regions based on development patterns. The results indicate that the School Enrollment Rate (APS) has a significant negative effect on IKP, Gross Regional Domestic Product (GRDP) per capita has a positive but limited effect, access to safe drinking water fluctuates, while the electrification ratio consistently shows a significant positive effect. The Fuzzy C-Means analysis produces three main clusters: (1) regions with moderate APS and relatively high IKP, (2) regions with high APS but medium to low IKP, and (3) regions with low APS and low IKP representing disadvantaged areas. These findings highlight that development in NTT still faces spatial-temporal disparities, implying that policies cannot be uniform but must be tailored to local characteristics.

Keywords: GTWR, Food Security Index, Fuzzy C-Means, Spatiotemporal, Regional Development

PENDAHULUAN

Ketahanan pangan di Indonesia masih menghadapi tantangan serius yang ditandai oleh ketimpangan antarwilayah akibat perbedaan kondisi sosial, ekonomi, dan infrastruktur (Budiman & Suhendi, 2024). Fenomena heterogenitas spasial dan temporal menjadi kendala utama dalam mewujudkan ketersediaan, keterjangkauan, dan pemanfaatan pangan yang merata. Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) merupakan contoh nyata, di mana disparitas antar kabupaten/kota masih tinggi, terlihat dari variasi prevalensi penduduk rawan pangan, tingkat kemiskinan, serta keterbatasan akses terhadap infrastruktur dasar yang mendukung distribusi pangan (Sumunar & Budiman, 2021). Kondisi ini menegaskan pentingnya analisis yang mampu mengungkap faktor-faktor yang memengaruhi ketahanan pangan secara lebih mendalam.

Sejumlah penelitian terdahulu telah menyoroti isu ketahanan pangan di Indonesia dengan pendekatan kuantitatif, misalnya menggunakan regresi linier atau model spasial global (Salasa, 2021). Namun, model tersebut mengasumsikan pengaruh variabel bersifat seragam antarwilayah. Padahal, dalam konteks Indonesia yang beragam secara sosial, budaya, dan geografis, pengaruh faktor-faktor ketahanan pangan sering kali tidak homogen, baik antar kabupaten/kota maupun antar waktu (Sumunar & Budiman, 2021).

Untuk menjawab keterbatasan tersebut, pendekatan Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) menawarkan analisis yang lebih akurat karena mampu menangkap variasi spasial sekaligus temporal dalam faktor penentu ketahanan pangan (He & Yang, 2023); (Ngabu, Pramoedyo, et al., 2023). Di sisi lain, guna memahami pola ketahanan pangan secara lebih komprehensif, metode klasterisasi seperti Fuzzy C-Means juga relevan, karena mampu mengelompokkan wilayah dengan derajat keanggotaan yang bersifat fuzzy, sehingga lebih sesuai dengan kondisi riil yang kompleks dan tidak selalu bersifat hitam-putih (Astuti et al., 2023).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh faktor sosial-ekonomi dan infrastruktur terhadap Indeks

Ketahanan Pangan (IKP) dengan mempertimbangkan heterogenitas spasial dan temporal melalui metode GTWR. Selain itu, penelitian ini juga mengelompokkan kabupaten/kota di NTT berdasarkan pola capaian pembangunan menggunakan Fuzzy C-Means. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperluas penerapan GTWR dan fuzzy clustering dalam kajian pembangunan regional, tetapi juga memberikan kontribusi praktis bagi perumusan kebijakan pembangunan yang lebih adaptif, tepat sasaran, dan berkelanjutan.

KAJIAN TEORI

Pertama, teori pembangunan regional menekankan pentingnya pemerataan pembangunan antarwilayah untuk mencapai kesejahteraan yang berkelanjutan. Menurut Todaro dan Smith (2015), pembangunan regional tidak hanya mengukur pertumbuhan ekonomi, tetapi juga melibatkan aspek distribusi dan pemerataan antar daerah. Dalam konteks Indonesia, ketimpangan regional merupakan fenomena yang nyata akibat perbedaan sumber daya alam, kualitas sumber daya manusia, serta infrastruktur dasar yang tidak merata (Facendola et al., 2023) (Diarty & Wijayanto, 2024).

Kedua, konsep heterogenitas spasial dan temporal menjadi penting dalam studi pembangunan. Heterogenitas spasial mengacu pada perbedaan karakteristik antarwilayah, sedangkan heterogenitas temporal berkaitan dengan perubahan kondisi dari waktu ke waktu. Model regresi klasik yang mengasumsikan homogenitas global sering kali tidak mampu menangkap variasi antar lokasi (Iriany et al., 2024). Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang mampu mengakomodasi perbedaan tersebut.

Ketiga, Geographically Weighted Regression (GWR) merupakan metode analisis regresi spasial yang dikembangkan untuk memperhitungkan variasi lokal antarwilayah (Pramoedyo et al., 2024). Pengembangan lebih lanjut, yaitu Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR), memungkinkan model memperhitungkan tidak hanya dimensi ruang tetapi juga dimensi waktu. GTWR lebih unggul dalam menganalisis data panel spasial karena mampu menunjukkan dinamika pengaruh variabel independen terhadap variabel

dependen sepanjang waktu dan lokasi (Ngabu, Fitriani, et al., 2023).

Keempat, konsep Fuzzy C-Means (FCM) clustering digunakan untuk mengelompokkan objek ke dalam beberapa klaster dengan tingkat keanggotaan yang bersifat fuzzy (Zhen, 2021a). Berbeda dengan metode hard clustering seperti K-Means, FCM memungkinkan suatu objek memiliki keanggotaan pada lebih dari satu klaster dengan derajat tertentu (Khan et al., 2024). Dalam penelitian pembangunan regional, metode ini bermanfaat untuk mengidentifikasi pola pembangunan yang tidak bersifat hitam-putih, melainkan gradual sesuai realitas sosial ekonomi di lapangan.

Kelima, Indeks Ketahanan Pangan (IKP) merupakan indikator komposit yang digunakan untuk mengukur kondisi ketahanan pangan suatu wilayah. Menurut Badan Ketahanan Pangan (2021), IKP mencakup dimensi ketersediaan, keterjangkauan, dan pemanfaatan pangan. IKP relevan sebagai variabel dependen dalam penelitian ini karena menggambarkan aspek kesejahteraan masyarakat secara multidimensional yang terkait erat dengan faktor sosial-ekonomi dan infrastruktur.

Berdasarkan kajian teori tersebut, dapat disimpulkan bahwa kombinasi antara GTWR dan FCM memberikan kerangka analisis yang komprehensif untuk menelaah dinamika ketahanan pangan regional. GTWR mampu mengungkap variasi spasial dan temporal dari pengaruh faktor-faktor pembangunan, sementara FCM membantu mengelompokkan wilayah berdasarkan pola pencapaian pembangunan (Yang et al., 2022). Dengan demikian, kedua metode ini saling melengkapi dalam menghasilkan pemahaman yang lebih baik mengenai ketimpangan dan variasi ketahanan pangan di Provinsi NTT.

METODE

Data dan Instrumen Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan rancangan penelitian eksplanatori untuk menganalisis pengaruh faktor sosial-ekonomi dan infrastruktur terhadap Indeks Ketahanan Pangan (IKP) pada kabupaten/kota di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) dengan mempertimbangkan dimensi spasial dan temporal. Analisis dilakukan dengan memadukan metode Geographically and

Temporally Weighted Regression (GTWR) serta Fuzzy C-Means clustering.

Populasi penelitian mencakup seluruh kabupaten/kota di Provinsi NTT, sedangkan sampel yang digunakan adalah data panel seluruh kabupaten/kota di provinsi tersebut pada periode 2018–2022. Dengan demikian, penelitian ini memanfaatkan data spasial dan temporal yang bersumber dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik (BPS) serta Kementerian/Lembaga terkait. Variabel yang digunakan meliputi IKP sebagai variabel dependen, serta Angka Partisipasi Sekolah (APS), Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) per kapita, persentase akses air minum layak, dan rasio elektrifikasi sebagai variabel independen.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui metode dokumentasi, yaitu dengan mengakses data sekunder dari publikasi tahunan BPS dan laporan resmi instansi pemerintah. Data spasial berupa batas wilayah administratif kabupaten/kota diperoleh dalam bentuk shapefile dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Seluruh data diolah menggunakan perangkat lunak statistik dan spasial seperti Python (pustaka statsmodels, mgwr, geopandas), QGIS, serta Microsoft Excel untuk kebutuhan kompilasi dan tabulasi data.

Instrumen penelitian berupa lembar tabulasi data indikator sosial-ekonomi, infrastruktur, dan IKP yang telah disesuaikan dengan format panel data spasial. Data numerik diuji konsistensinya melalui data cleaning untuk memastikan tidak ada nilai hilang atau outlier ekstrem yang dapat memengaruhi hasil analisis.

Geographically Temporal Weighted Regression

Teknik analisis data dilakukan dalam beberapa tahap. Pertama, analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik masing-masing variabel dan distribusi spasial IKP. Kedua, GTWR digunakan untuk mengestimasi pengaruh variabel independen terhadap IKP dengan mempertimbangkan variasi spasial dan temporal. Secara matematis, model GTWR dapat dituliskan sebagai berikut.

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i, t_i)X_{ik} + \varepsilon_i \quad (1)$$

dengan y_i adalah nilai IKP pada lokasi dan waktu ke- i , (u_i, v_i, t_i) adalah koordinat spasial pada waktu t_i ,

$\beta_k(u_i, v_i, t_i)$ adalah koefisien regresi yang bervariasi menurut ruang dan waktu, X_{ik} adalah variabel independen, serta ε_i adalah galat (Yu, 2025)(Sharma, 2023).

Fuzzy C-Means

Fuzzy C-Means (FCM) clustering digunakan untuk mengelompokkan kabupaten/kota berdasarkan pola pembangunan. FCM meminimalkan fungsi objektif (Hashemi et al., 2023).

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (2)$$

dengan N adalah jumlah data, C adalah jumlah klaster, u_{ij} adalah derajat keanggotaan data ke- i pada klaster ke- j , c_j adalah pusat klaster ke- j , dan $m > 1$ adalah parameter fuzziness(Gupta, 2021) (Zhen, 2021b).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Statistik Deskriptif

Tabel 1 menyajikan statistik deskriptif untuk setiap variabel utama.

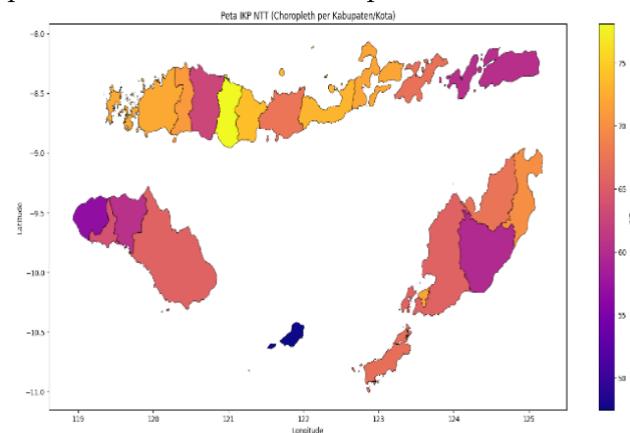
Tabel 1. Statistik Deskriptif Variabel

Variabel	Mean	Std	Min	Max
IKP	66,29	6,73	47,44	78,09
APS	74,45	6,04	60,91	89,19
PDRB	11,968	6145	7281	37213
Airminum	11,45	7,94	0,08	30,38
ListrikID	70,49	11,05	50,25	87,15

Berdasarkan Tabel 1, rata-rata IKP sebesar 66,29 berada pada kategori menengah dengan variasi cukup besar ($\pm 6,73$), yang mencerminkan ketimpangan antar kabupaten/kota di NTT. Nilai minimum 47,44 menunjukkan adanya daerah yang tertinggal jauh dibandingkan wilayah dengan IKP tertinggi 78,09. PDRB per kapita juga memperlihatkan kesenjangan signifikan, di mana daerah dengan perekonomian maju memiliki nilai hingga lima kali lipat lebih tinggi dibandingkan yang terendah. Kondisi ini mengindikasikan adanya ketimpangan struktural ekonomi yang berdampak pada akses pendidikan, layanan dasar, dan kualitas hidup. Sementara itu, akses air minum layak yang rata-rata hanya 11,45% menunjukkan infrastruktur dasar masih menjadi kendala utama. Rasio elektrifikasi relatif lebih baik dengan capaian rata-rata 70,49%, namun masih terdapat daerah yang belum mencapai 50%. Ketimpangan distribusi

infrastruktur ini menunjukkan perlunya perhatian kebijakan yang lebih merata.

Berikut persebaran indeks ketahanan pangan pada tahun 2018-2022 di NTT, pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Persebaran Indeks Ketahanan Pangan di NTT peiode 2018-2019

Gambar 1 menunjukkan bahwa persebaran Indeks Ketahanan Pangan (IKP) antar kabupaten/kota di Provinsi Nusa Tenggara Timur tidak merata. Beberapa wilayah di bagian barat dan tengah, seperti Kota Kupang dan sekitarnya, memiliki nilai IKP relatif lebih tinggi dibandingkan daerah lainnya. Sementara itu, sejumlah kabupaten di wilayah timur dan selatan memperlihatkan capaian IKP yang lebih rendah. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan pembangunan antarwilayah di NTT.

Meskipun NTT memiliki potensi sumber daya alam dan dukungan program pembangunan, perbedaan capaian IKP menunjukkan bahwa distribusi hasil pembangunan belum seimbang di seluruh kabupaten/kota. Selain itu, pola spasial pada peta memperlihatkan adanya pengelompokan daerah dengan nilai IKP tinggi maupun rendah, yang mengindikasikan bahwa kualitas pembangunan di NTT dipengaruhi oleh ketergantungan spasial terhadap wilayah sekitar.

Tabel 2, berikut menunjukkan korelasi antar variabel.

Tabel 2. Hasil Korelasi antar Variabel

Variabel	IKP	APS	PDRB	Airminum	ListrikID
IKP	1	-0,198	0,318	-0,605	0,726
APS	-0,198	1	0,396	-0,052	-0,289
PDRB	0,318	0,396	1	-0,502	-0,009

Airminum	- 0,605	- 0,052	- 0,502	1	- 0,583
ListrikID	0,726	- 0,289	- 0,009	- 0,583	1

Berdasarkan hasil korelasi pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa analisis korelasi mengidentifikasi hubungan positif kuat antara IKP dan elektrifikasi (r=0,726), yang menunjukkan bahwa ketersediaan listrik merupakan faktor penting dalam mendorong capaian pembangunan. Sebaliknya, korelasi negatif ditemukan antara IKP dan variabel air minum (-0,605) serta APS (-0,198). Fenomena ini mengindikasikan adanya masalah struktural, seperti kualitas pendidikan yang belum sejalan dengan peningkatan angka partisipasi sekolah, serta kemungkinan distorsi data atau keterbatasan distribusi infrastruktur air minum.

Model OLS

Berikut ditunjukkan hasil analisis regresi dengan OLS, pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Analisis OLS

Variable	Coef	P> t
const	79,80	0,00
APS	- 0,32	0,00
PDRB	0,00	0,00
Airminum	- 0,21	0,01
ListrikID	0,12	0,00

Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} IKP = 79,80 - 0,32APS + 0,0003PDRB \\ - 0,21Airminum + 0,12ListrikID + \varepsilon \end{aligned}$$

Hasil regresi OLS menunjukkan bahwa APS berpengaruh negatif signifikan terhadap IKP ($\beta = -0,32$; $p < 0,01$), yang mengindikasikan bahwa peningkatan APS tidak secara langsung sejalan dengan perbaikan capaian pembangunan. PDRB per kapita berpengaruh positif signifikan meskipun dengan koefisien kecil ($\beta \approx 0,0003$; $p < 0,01$), sehingga kontribusinya relatif terbatas. Rasio elektrifikasi berpengaruh positif signifikan ($\beta = 0,12$; $p < 0,01$), menunjukkan bahwa peningkatan akses listrik memiliki peran penting dalam mendorong pembangunan daerah. Sebaliknya, akses air minum layak berpengaruh negatif signifikan ($\beta = -0,21$; $p < 0,05$), yang merefleksikan masih terdapat permasalahan distribusi infrastruktur dasar.

Nilai R^2 sebesar 0,424 menunjukkan bahwa model hanya mampu menjelaskan 42,4% variasi IKP, sehingga masih terdapat faktor lain yang berpengaruh namun belum terakomodasi dalam

model. Selain itu, hasil uji autokorelasi spasial menunjukkan adanya pola spasial yang signifikan (Moran's I = 0,5736; $p < 0,01$), sehingga model regresi global kurang memadai dan diperlukan pendekatan spasial-temporal seperti GTWR untuk menangkap heterogenitas antarwilayah.

Sebelum melakukan analisis GTWR maka dilakukan uji diagnostik model global yang ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Diagnostik Model Global

Asumsi	Uji	Hipotesis Nol	Statistik	Kesimpulan
Autokorelasi	Moran's I Test	Tidak terdapat autokorelasi spasial	0,5736	Tolak H_0
Autokorelasi	Durbin-Watson Test	Tidak terdapat autokorelasi serial	1,002	terdapat autokorelasi positif
Normalitas	Shapiro-Wilk Test	Residual berdistribusi normal	0,964	Tolak H_0
Normalitas	Jarque-Bera Test	Residual berdistribusi normal	18,569	Tolak H_0
Heteroskedastisitas	Breusch-Pagan Test	Homoskedastisitas	12,270	Tolak H_0

Pemeriksaan asumsi klasik pada model global menunjukkan bahwa residual tidak memenuhi asumsi normalitas berdasarkan uji Shapiro-Wilk ($p=0,0049$) dan Jarque-Bera ($p=0,0001$). Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi residual menyimpang dari distribusi normal. Selanjutnya, uji autokorelasi dengan Moran's I ($I=0,5736$; $p<0,01$) dan nilai Durbin-Watson (1,002) memperlihatkan adanya autokorelasi spasial maupun serial yang signifikan. Dengan demikian, terdapat ketergantungan antarresidual sehingga asumsi independensi tidak terpenuhi.

Hasil uji heteroskedastisitas melalui Breusch-Pagan test ($\chi^2=12,270$; $p=0,0155$) juga menolak hipotesis nol, yang berarti varians residual tidak konstan antarobservasi. Temuan ini mengindikasikan adanya heterogenitas spasial dalam data, di mana pengaruh variabel penjelas terhadap variabel respon berbeda-beda antarwilayah.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan model regresi global menjadi kurang efisien karena menghasilkan estimasi parameter yang bias. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang

mampu mengakomodasi keragaman spasial dan temporal, seperti Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR).

Model GTWR

Dalam pembentukan model GTWR, diperlukan matriks pembobot spasial sekaligus temporal. Pembentukan matriks pembobot tersebut menggunakan fungsi kernel fixed tricube. Pemilihan kernel dilakukan berdasarkan nilai AICc terkecil dibandingkan dengan fungsi kernel lainnya, seperti gaussian, bisquare, dan exponential, di mana kernel fixed tricube menghasilkan nilai AICc sebesar 73,0627, yang sekaligus didukung oleh nilai BIC terendah. Dengan demikian, pemodelan GTWR pertumbuhan produksi beras di Indonesia menggunakan kernel fixed tricube dengan bandwidth optimum sebesar 34,4542.

Selanjutnya akan ditunjukkan hasil analisis GTWR pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Estimasi dengan GTWR

Variabel	2018	2019	2020	2021	2022
Konstanta	97,13	74,14	95,09	49,12	41,28
APS	-0,74	-0,21	-0,63	-0,25	-0,10
PDRB	0,00037	0,00017	0,00069	0,00018	0,00015
Air Minum	-0,13	-0,29	-0,02	0,06	0,15
Listrik	0,26	0,19	0,17	0,41	0,38

Hasil estimasi menunjukkan adanya variasi spasial-temporal pada pengaruh faktor sosial-ekonomi dan infrastruktur terhadap IKP kabupaten/kota di NTT selama periode 2018–2022. Konstanta (b_0) cenderung menurun dari 97,13 (2018) menjadi 41,28 (2022), yang mengindikasikan bahwa secara umum capaian IKP mengalami penurunan baseline setelah dikendalikan oleh variabel penjelas.

Variabel APS secara konsisten berpengaruh negatif di semua tahun, meskipun dengan intensitas yang berbeda. Pengaruh terkuat terjadi pada 2018 ($\beta = -0,74$), sedangkan pada 2022 melemah ($\beta = -0,09$). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan APS belum sepenuhnya diikuti dengan kualitas capaian pembangunan yang merata, bahkan berpotensi menimbulkan kesenjangan baru.

Variabel PDRB per kapita selalu berpengaruh positif, meskipun dengan koefisien kecil. Hal ini menandakan bahwa pertumbuhan ekonomi tetap

menjadi faktor pendukung IKP, tetapi kontribusinya relatif terbatas.

Variabel air minum layak berfluktuasi, dengan pengaruh negatif pada 2018–2019, relatif netral pada 2020, dan positif pada 2021–2022. Dinamika ini mengindikasikan adanya perbedaan kualitas layanan antarwilayah dan waktu.

Sementara itu, rasio elektrifikasi konsisten berpengaruh positif signifikan, dengan pengaruh terbesar pada 2021 ($\beta = 0,41$). Hal ini menunjukkan bahwa akses listrik merupakan faktor penting dan stabil dalam mendorong peningkatan IKP di NTT. Secara keseluruhan, hasil ini memperlihatkan adanya heterogenitas spasial-temporal yang tidak dapat dijelaskan hanya dengan model regresi global (OLS).

Fuzzy C-Means

Berikut hasil Fuzzy C-Means pada Tabel 6.

Tabel 6. Analisis Hasil Klaster dengan Fuzzy C-Means

Klaster	Jumlah Kabupaten/Kota	Karakteristik Utama
1	9	APS sedang, IKP relatif tinggi, sehingga daerah dengan capaian pembangunan cukup baik meski akses pendidikan tidak selalu dominan.
2	7	APS tinggi, IKP menengah/rendah, menunjukkan bahwa pendidikan belum otomatis diikuti oleh peningkatan kualitas pembangunan.
3	6	APS rendah, IKP rendah daerah tertinggal yang menghadapi keterbatasan ganda, baik dalam aspek pendidikan maupun pembangunan.

Hasil Fuzzy C-Means (FCM) menghasilkan tiga klaster utama yang menggambarkan kondisi pembangunan kabupaten/kota di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Klaster 1 terdiri dari 9 kabupaten/kota dengan karakteristik capaian pembangunan relatif baik meskipun tingkat APS berada pada kategori sedang. Hal ini menunjukkan bahwa variabel infrastruktur, khususnya elektrifikasi, memberikan kontribusi penting dalam

peningkatan IKP. Klaster 2 beranggotakan 7 kabupaten/kota dengan APS tinggi tetapi IKP masih menengah hingga rendah. Kondisi ini mengindikasikan bahwa peningkatan pendidikan belum sepenuhnya berdampak pada perbaikan capaian pembangunan secara menyeluruh, kemungkinan karena keterbatasan faktor ekonomi atau infrastruktur dasar. Sementara itu, Klaster 3 yang terdiri atas 6 kabupaten/kota merepresentasikan daerah dengan APS rendah dan IKP rendah, sehingga menunjukkan kerentanan ganda baik dalam aspek pendidikan maupun akses pembangunan.

Secara keseluruhan, hasil FCM menunjukkan adanya heterogenitas spasial pembangunan di NTT. Klasterisasi ini penting untuk memberikan dasar kebijakan yang lebih tepat sasaran, di mana setiap kelompok wilayah memerlukan strategi intervensi yang berbeda sesuai dengan kondisi sosial, ekonomi, dan infrastrukturnya.

Pembahasan

Hasil GTWR menunjukkan bahwa pengaruh variabel penjelas (APS, PDRB, Air Minum, dan ListrikID) terhadap IKP berbeda antar tahun dan antar wilayah. Hal ini sejalan dengan hasil FCM, di mana terdapat pola klasterisasi spasial yang mengindikasikan heterogenitas daerah.

Klaster 1 (APS sedang, IKP tinggi): Selaras dengan koefisien GTWR yang memperlihatkan bahwa faktor non-pendidikan, seperti elektrifikasi dan PDRB, memberikan kontribusi positif terhadap IKP di sebagian wilayah.

Klaster 2 (APS tinggi, IKP menengah/rendah): Mencerminkan temuan GTWR bahwa koefisien APS seringkali negatif signifikan, sehingga pencapaian pendidikan belum konsisten berkontribusi pada peningkatan IKP.

Klaster 3 (APS rendah, IKP rendah): Konsisten dengan hasil GTWR yang menunjukkan keterbatasan akses infrastruktur dasar (air minum dan listrik) masih menjadi faktor penghambat pembangunan, dengan koefisien negatif signifikan pada beberapa tahun.

Dengan demikian, integrasi hasil FCM dan GTWR memperkuat bukti adanya heterogenitas spasial dan temporal di NTT, di mana peran variabel pembangunan tidak seragam. FCM membantu mengidentifikasi kelompok wilayah, sementara

GTWR memberikan informasi dinamika koefisien variabel di tiap lokasi dan tahun.

Berdasarkan hasil analisis GTWR dan FCM, dapat disimpulkan bahwa pembangunan di NTT masih menghadapi ketimpangan spasial antara capaian pendidikan, tingkat kesejahteraan ekonomi, dan ketersediaan infrastruktur dasar. Oleh karena itu, kebijakan pembangunan perlu diarahkan secara lebih spesifik sesuai karakteristik wilayah. Kabupaten/kota dengan capaian pendidikan relatif baik namun ekonomi lemah memerlukan penguatan sektor produktif lokal untuk mendorong kesejahteraan masyarakat. Sementara itu, daerah dengan capaian pendidikan dan ekonomi yang sama-sama rendah perlu mendapatkan intervensi terpadu melalui perluasan akses pendidikan, peningkatan kualitas layanan dasar, serta percepatan pembangunan infrastruktur. Di sisi lain, wilayah dengan PDRB tinggi dapat difungsikan sebagai pusat pertumbuhan baru dengan mendorong keterhubungan ekonomi antarwilayah sehingga manfaat pembangunan tidak terkonsentrasi pada satu daerah saja. Dengan demikian, pendekatan spasial berbasis karakteristik lokal menjadi penting untuk memastikan kebijakan yang diterapkan lebih efektif, efisien, dan berkeadilan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya atas dukungan pendanaan melalui Hibah Penelitian DPP SPP, yang telah memberikan kontribusi besar terhadap kelancaran penelitian ini. Dukungan hibah tersebut tidak hanya membantu dalam proses pengumpulan dan pengolahan data, tetapi juga mendorong penulis untuk menghasilkan kajian ilmiah yang lebih mendalam dan relevan. Penulis juga berterima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

PENUTUP

SIMPULAN

Metode GTWR berhasil menunjukkan adanya heterogenitas spasial-temporal dalam pengaruh faktor sosial-ekonomi dan infrastruktur terhadap

Indeks Ketahanan Pangan (IKP) di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Hasil analisis memperlihatkan bahwa Angka Partisipasi Sekolah (APS) konsisten berpengaruh negatif hampir di seluruh tahun penelitian, yang berarti peningkatan partisipasi sekolah belum diiringi dengan perbaikan kualitas pembangunan. Sementara itu, Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) berpengaruh positif tetapi dengan kontribusi yang relatif terbatas. Variabel akses air minum layak menunjukkan pengaruh yang berfluktuasi, yakni negatif pada awal periode, netral pada pertengahan, dan positif pada tahun akhir. Berbeda dengan itu, rasio elektrifikasi konsisten memberikan pengaruh positif signifikan sehingga dapat disimpulkan bahwa ketersediaan listrik merupakan faktor paling stabil dan penting dalam peningkatan IKP.

Selanjutnya, metode Fuzzy C-Means berhasil mengelompokkan kabupaten/kota di NTT ke dalam tiga klaster pembangunan. Klaster pertama menunjukkan capaian pembangunan relatif baik dengan APS sedang dan IKP tinggi, klaster kedua ditandai dengan APS tinggi namun IKP menengah hingga rendah yang menunjukkan bahwa peningkatan pendidikan belum sepenuhnya berdampak pada kualitas pembangunan, sedangkan klaster ketiga merepresentasikan daerah dengan APS rendah dan IKP rendah yang menghadapi keterbatasan ganda. Integrasi hasil GTWR dan FCM menegaskan bahwa pembangunan di NTT masih menghadapi ketimpangan spasial-temporal, baik dalam aspek pendidikan, ekonomi, maupun infrastruktur dasar, sehingga kebijakan pembangunan tidak dapat bersifat seragam melainkan perlu menyesuaikan kondisi lokal masing-masing wilayah.

SARAN

Berdasarkan temuan tersebut, disarankan agar kebijakan pembangunan di NTT tidak bersifat seragam, tetapi menyesuaikan kondisi lokal. Peningkatan akses air minum layak dan elektrifikasi perlu diprioritaskan di wilayah tertinggal, sementara daerah dengan PDRB tinggi dapat diarahkan menjadi pusat pertumbuhan yang mendorong wilayah sekitarnya. Selain itu, peningkatan kualitas pendidikan harus memperhatikan relevansi dengan kebutuhan ekonomi lokal agar berdampak positif terhadap pembangunan. Pendekatan spasial-

temporal seperti GTWR perlu dimanfaatkan dalam perencanaan, agar kebijakan lebih tepat sasaran dan berkelanjutan..

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, A. B., Guci, A. N., Alim, V. I. A., Azizah, L. N., Putri, M. K., & Ngabu, W. (2023). Non Hierarchical K-Means Analysis To Clustering Priority Distribution of Fuel Subsidies in Indonesia. *Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 17(3), 1663–1672.
- Budiman, L., & Suhendi, D. (2024). Resiliensi penguatan ketahanan pangan daerah di Indonesia. *Jurnal Perlindungan Masyarakat: Bestuur Praesidium*, 1(2), 63–71.
- Diarty, M., & Wijayanto, A. W. (2024). Analisis Aspek Ketahanan Pangan Indonesia dengan Hard dan Soft Clustering, 2022. *Rekayasa*, 17(1), 108–123.
- Facendola, R., Ottomano Palmisano, G., De Boni, A., Acciani, C., & Roma, R. (2023). Profiling citizens on perception of key factors of food security: An application of k-means cluster analysis. *Sustainability*, 15(13), 9915.
- Gupta, A. (2021). Vpn-nonvpn traffic classification using deep reinforced naive bayes and fuzzy k-means clustering. *2021 IEEE 41st International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW)*, 1–6.
- Hashemi, S. E., Gholian-Jouybari, F., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2023). A fuzzy C-means algorithm for optimizing data clustering. *Expert Systems with Applications*, 227, 120377.
- He, J., & Yang, J. (2023). Spatial-temporal characteristics and influencing factors of land-use carbon emissions: an empirical analysis based on the GTWR model. *Land*, 12(8), 1506.
- Iriany, A., Ngabu, W., & Ariyanto, D. (2024). Rainfall modeling using the geographically weighted poisson regression method. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 18(1), 627–636.
- Khan, Y., Ashraf, S., Farman, M., & Abdallah, S. A. O. (2024). Exploring household food security through institutional factors: A statistical and mathematical analysis. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 46(4), 9179–9195.
- Ngabu, W., Fitriani, R., Pramoedyo, H., & Astuti, A. B. (2023). Cluster fast double bootstrap approach with random effect spatial modeling. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 17(2), 945–954.
- Ngabu, W., Pramoedyo, H., Fitriani, R., & Astuti, A. B. (2023). Spatial modeling of fixed effect and random effect with fast double bootstrap

- approach. *ComTech Comput. Math. Eng. Appl.*, 14(1), 1–9.
- Pramoedyo, H., Ngabu, W., & Iriany, A. (2024). Location Based Stunting Modeling Using Geographically Weighted Panel Regression in Blitar Regency. *JURNAL ILMIAH MATEMATIKA DAN TERAPAN*, 21(2), 89–99.
- Salasa, A. R. (2021). Paradigma dan dimensi strategi ketahanan pangan Indonesia. *Jejaring Administrasi Publik*, 13(1), 35–48.
- Sharma, A. (2023). Exploratory spatial analysis of food insecurity and diabetes: an application of multiscale geographically weighted regression. *Annals of GIS*, 29(4), 485–498.
- Sumunar, A. A. K., & Budiman, S. (2021). Proyeksi Ketahanan Pangan Provinsi Nusa Tenggara Timur Tahun 2015-2045 Ditinjau Dari Ketersediaan, Kebutuhan, Dan Persediaan Beras. *Sepa: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis*, 18(1), 80–91.
- Yang, B., Wu, S., & Yan, Z. (2022). Effects of climate change on corn yields: spatiotemporal evidence from geographically and temporally weighted regression model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(8), 433.
- Yu, H. (2025). Generalized geographically and temporally weighted regression. *Computers, Environment and Urban Systems*, 117, 102244.
- Zhen, C. (2021a). Using Big Data Fuzzy K-Means Clustering and Information Fusion Algorithm in English Teaching Ability Evaluation. *Complexity*, 2021(1), 5554444.
- Zhen, C. (2021b). Using Big Data Fuzzy K-Means Clustering and Information Fusion Algorithm in English Teaching Ability Evaluation. *Complexity*, 2021(1), 5554444.