



## Analisis Spasial Ketahanan Pangan di Indonesia Tahun 2022 dengan Model *Geographically Weighted Logistic Regression*

Diska Agustinningtyas<sup>1\*</sup>, Irfan Syukri<sup>2</sup>, Gusvia Choiri Nisa<sup>3</sup>, Gloria Stephany Haman Cengga<sup>4</sup>, Muhammad Rafi Ikhsanudin<sup>5</sup>, Budiasih<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Politeknik Statistika STIS

\*) Penulis Korespondensi : 212011591@stis.ac.id

**Abstract.** *The crisis in food security is a problem in many countries including Indonesia. The crisis is important to pay attention to, in order to realize sustainable food security in accordance with the second Sustainable Development Goals (SDGs) of zero hunger. Achieving food security cannot be separated from making appropriate and targeted policies. Policy making must be supported by accurate, comprehensive and systematic food security information. This study aimed to classify districts/cities in Indonesia into food-secure and food-prone areas and analyze the factors that influence the food security status. The data were analyzed descriptively and inferentially where clustering with k-means method for food security status classification and Geographically Weighted Logistic Regression (GWLR) modeling with Adaptive Gaussian kernel function weights which provided the best model with the smallest Akaike Information Criterion corrected (AICc) compared to other kernels to see the spatial influence in determining the food security condition of a district/city. The results showed that in 2022 there were 388 districts/cities with food security status and 126 districts/cities with food insecurity status. In addition, of the 9 variables used in clustering, there are 5 variables used in GWLR modeling. Three of them are significant in all regions in Indonesia, while 1 variable is locally significant in some regions.*

**Keyword:** cluster, food, food security, Geographically Weighted Logistic Regression, spatial analysis.

**Abstrak.** *Krisis pada ketahanan pangan menjadi masalah di berbagai negara termasuk Indonesia. Krisis tersebut penting untuk diperhatikan untuk mewujudkan ketahanan pangan berkelanjutan sesuai dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) yang kedua yaitu tanpa kelaparan. Tercapainya ketahanan pangan tidak lepas dari pengambilan kebijakan yang sesuai dan tepat sasaran. Pengambilan kebijakan harus didukung oleh informasi ketahanan pangan yang akurat, menyeluruh, dan sistematis. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan kabupaten/kota di Indonesia menjadi wilayah tahan pangan dan rawan pangan serta menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi status ketahanan pangan tersebut. Data dianalisis secara deskriptif dan inferensia di mana clustering dengan metode k-means untuk klasifikasi status ketahanan pangan dan pemodelan Geographically Weighted Logistic Regression (GWLR) dengan penimbang fungsi kernel Adaptive Gaussian yang memberikan model terbaik dengan Akaike Information Criterion corrected (AICc) terkecil dibandingkan kernel lainnya untuk melihat pengaruh spasial dalam menentukan kondisi ketahanan pangan suatu kabupaten/kota. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tahun 2022 terdapat 388 kabupaten/kota dengan status tahan pangan dan 126 kabupaten/kota berstatus tidak tahan pangan. Selain itu, dari 9 variabel yang digunakan dalam clustering, terdapat 5 variabel yang digunakan dalam pemodelan GWLR. Tiga variabel di antaranya signifikan di semua daerah di Indonesia, sedangkan satu variabel signifikan secara lokal di beberapa daerah.*

**Kata Kunci:** analisis spasial, Geographically Weighted Logistic Regression, ketahanan pangan, klaster, pangan.

diunggah: Agustus 2023; direvisi: November 2023; disetujui: Maret 2024

This is an open access article under the CC-BY licence



© the Author(s). 2024

Cara Sitasi: Agustinningtyas, Diska et al (2024). Analisis Spasial Ketahanan Pangan Di Indonesia Tahun 2022 Dengan Model *Geographically Weighted Logistic Regression*. *Jurnal Litbang Sukowati : Media Penelitian dan Pengembangan*, 8(1), 45-62. <https://doi.org/10.32630/sukowati.v8i1.438>

## PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan keadaan di mana kebutuhan pangan secara kuantitas maupun kualitas dapat terpenuhi dengan cukup baik, mulai dari tingkat individu hingga nasional. Hal tersebut dapat dilihat dari ketersediaan pangan yang tercukupi, kriteria keamanan yang terpenuhi, keragaman, kualitas kesehatan, kesetaraan distribusi, dan keterjangkauan harga sehingga masyarakat mudah memperoleh akses hidup sehat, aktif, dan produktif dalam jangka panjang (Hadi et al., 2020). Terdapat tiga aspek utama yang ditinjau terkait ketahanan pangan, yaitu ketersediaan, keterjangkauan, dan pemanfaatannya. Karena pentingnya ketiga aspek tersebut, diperlukan informasi yang akurat, menyeluruh, dan sistematis terkait ketahanan pangan untuk mendorong upaya pencegahan serta penanganan ketidaktahanan pangan dan gizi yang dapat menjadi dasar bagi kepada pemangku kepentingan dalam menyusun program kerja, kebijakan, dan pelaksanaan intervensi di tingkat tertentu (Badan Ketahanan Pangan, 2021). Dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang pangan dinyatakan bahwa penyelenggaraan pangan dilakukan berdasarkan tiga asas, yaitu kedaulatan, kemandirian, dan ketahanan pangan. Kedaulatan pangan merupakan hak negara dan bangsa secara mandiri dapat memutuskan kebijakan terkait pangan sesuai dengan potensi sumber daya lokal. Kemandirian pangan merupakan suatu kemampuan negara dalam memproduksi pangan yang beragam dalam menjamin pemenuhan kebutuhan pangan hingga tingkat individu dengan memandatkan potensi alam, manusia, dan sebagainya secara bermartabat (Sutrisno, 2022).

Tabel 1.  
Skor dan Peringkat Indeks Ketahanan Pangan Indonesia

Tahun	Skor	Peringkat
2018	54,8	65
2019	62,6	62
2020	59,5	65
2021	59,2	69
2022	60,2	63

Sumber: Global Food Security Index (GFSI)

Nilai ketahanan pangan Indonesia sejak lima tahun terakhir berfluktuasi (Tabel 1). Menurut skor indeks *Global Food Security Index* (GFSI) tahun 2022, Indonesia berada pada urutan ke-63 dari 113 negara yang dianalisis dalam hal ketahanan pangan (Tono et al., 2023). Peringkat tersebut mengalami kenaikan di mana pada tahun 2021, Indonesia berada pada urutan ke-69 dari 113 negara. Dalam publikasi GFSI (2022), terdapat empat indikator utama yang digunakan dalam mengukur ketahanan pangan, yaitu keterjangkauan harga, ketersediaan pasokan, kualitas dan keamanan, serta ketahanan sumber daya alam. Ketahanan pangan Indonesia tercatat berada pada level indeks 60,2 pada tahun 2022. Nilai ini lebih baik dibandingkan tahun 2021 yang hanya mencapai angka 59,2. Peningkatan tersebut didominasi oleh skor keterjangkauan harga yaitu sebesar 81,4 jauh di atas rata-rata Asia Pasifik yang hanya mencapai 73,4 dimana GFSI menilai bahwa Indonesia memiliki

harga pangan yang cukup terjangkau dibandingkan negara lain. Hal tersebut yang membuat indeks ketahanan pangan Indonesia mengalami peningkatan dari tahun sebelumnya. Meskipun demikian, indeks ketahanan pangan di Indonesia masih lebih kecil dibandingkan rata-rata global sebesar 62,2 dan rata-rata Asia Pasifik yang sebesar 63,4. Indeks ketahanan pangan (IKP) beserta tiga indikator penyusun dari 34 provinsi di Indonesia ditampilkan pada Tabel 2. Berdasarkan tabel tersebut, diketahui beberapa provinsi dengan status ketahanan pangan yang baik dan provinsi yang memerlukan perhatian khusus karena memiliki nilai IKP yang rendah. Selain itu, dapat dilihat juga indeks penyusun IKP yang unggul di setiap provinsi sehingga dapat diperlakukan berbeda antara indeks penyusun yang sudah cukup baik dan indeks penyusun yang masih memerlukan peningkatan.

Tabel 2.

Peringkat, Indeks Ketahanan Pangan, Indeks Ketersediaan, Indeks Keterjangkauan, dan Indeks Pemanfaatan Setiap Provinsi

Peringkat	Provinsi	IKP	Ketersediaan	Keterjangkauan	Pemanfaatan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	Bali	85,19	80,17	69,34	66,25
2	Jawa Tengah	82,95	80,19	75,02	64,44
3	Sulawesi Selatan	81,38	87,53	84,23	71,84
4	Kalimantan Selatan	81,05	38,78	86,50	69,81
5	DI Yogyakarta	80,88	58,48	82,00	67,04
6	Gorontalo	80,35	81,57	74,11	61,29
7	Jawa Timur	79,85	69,92	75,18	61,53
8	Sumatera Barat	79,45	94,94	79,62	67,72
9	Lampung	78,61	36,38	92,47	77,54
10	DKI Jakarta	78,25	5,83	88,90	72,53
11	Kalimantan Timur	77,65	0,00	83,22	81,12
12	Jawa Barat	77,66	84,59	79,11	73,71
13	Nusa Tenggara Barat	76,58	88,88	81,47	80,69
14	Sulawesi Tengah	75,92	84,20	79,66	79,97
15	Sulawesi Tenggara	75,04	90,64	79,42	74,27
16	Sulawesi Utara	74,30	82,81	83,99	62,79
17	Sulawesi Barat	74,04	79,08	94,00	82,08
18	Banten	73,78	92,85	76,24	67,81
19	Kep. Bangka Belitung	71,71	86,25	61,62	60,55
20	Sumatera Utara	71,22	76,21	86,33	56,29
21	Kalimantan Utara	71,04	49,87	91,07	67,55
22	Kalimantan Barat	70,81	88,69	90,68	69,01

Peringkat	Provinsi	IKP	Ketersediaan	Keterjangkauan	Pemanfaatan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
23	Aceh	70,16	52,23	90,27	79,43
24	Kalimantan Tengah	69,96	43,50	89,99	72,21
25	Sumatera Selatan	69,64	70,37	81,42	71,42
26	Jambi	69,50	77,98	80,39	70,88
27	Nusa Tenggara Timur	68,42	94,71	83,52	71,22
28	Bengkulu	67,99	71,8	78,24	74,38
29	Riau	67,59	94,25	79,76	71,91
30	Kep. Riau	63,83	76,11	83,45	65,42
31	Maluku	60,20	45,87	68,57	62,27
32	Maluku Utara	58,39	14,50	88,12	60,61
33	Papua Barat	45,92	11,81	62,11	56,17
34	Papua	37,80	17,68	49,89	42,34

Sumber: Badan Pangan Nasional (2022)

Salah satu tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) yang merupakan pembaruan dari *Millenium Development Goals* (MDGs) pada tahun 2015 adalah menyingkirkan kelaparan, mengatasi gizi buruk, serta meningkatkan produktivitas pertanian secara inklusif dan berkelanjutan yang harapannya dapat tercapai pada tahun 2030 (Arif et al., 2020). Ancaman krisis pangan global yang bisa terjadi kapan saja menjadi alasan kuat perlunya upaya perwujudan ketahanan pangan berkelanjutan (Suryana, 2014). Beberapa penelitian yang mengkaji penerapan model *Geographically Weighted Logistic Regression* (GWLR) dalam menjelaskan keterkaitan spasial antara status ketahanan pangan dan variabel-variabel prediktor yang mempengaruhinya di antaranya adalah Pemodelan GWLR dengan pembobot spasial *Kernel Fixed Gaussian* pada Studi Kasus Ketahanan Pangan di Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan (Munifah et al., 2014) dan Pemodelan *Geographically Weighted Ordinal Logistic Regression* (GWOLR) terkait Ketahanan Pangan di Jawa Timur (Rochmah & Ratnasari, 2020). Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa ketersediaan pangan secara signifikan dipengaruhi oleh variabel persentase rumah tangga yang tidak memiliki akses ke air bersih, angka harapan hidup, rasio jumlah penduduk per tenaga kesehatan terhadap tingkat kepadatan penduduk, persentase balita yang memiliki tinggi badan di bawah standar (*stunting*), dan rasio konsumsi normatif per kapita terhadap pangan sereal dan umbi-umbian.

Untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan upaya baik dari pemerintah pusat maupun pemerintah daerah. Pemerintah pusat dalam Rencana Aksi Nasional Pangan dan Gizi mengupayakan program dalam menyelaraskan perencanaan pangan dan gizi multisektoral sehingga mampu menjadi pedoman bagi pemerintah daerah. Urgensi untuk mengetahui daerah mana saja yang menjadi prioritas pemerintah daerah sebagai pemangku kebijakan pada khususnya karena berstatus tidak tahan pangan dan faktor apa saja yang dapat membuat daerah tersebut tergolong sebagai daerah tidak tahan pangan dengan pemodelan GWLR sebagai model yang mengakomodasi heterogenitas spasial pada

ketahanan pangan di 514 kabupaten/kota di Indonesia. Hal ini perlu dilakukan agar kebijakan yang diambil oleh pemerintah daerah setempat dapat lebih tepat sasaran sesuai dengan kondisi daerah tersebut. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan untuk memberikan gambaran mengenai faktor-faktor yang berpengaruh dalam menentukan suatu daerah tergolong sebagai daerah tahan atau tidak tahan pangan.

## METODE PENELITIAN

### Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan bersumber dari Badan Pangan Nasional (2022) yang termuat dalam *Food Security and Vulnerability Atlas (FSVA)* dengan unit observasi berupa 514 wilayah administrasi kabupaten/ kota di Indonesia. Penelitian ini menggunakan 9 variabel yang dibagi dalam tiga aspek, yaitu ketersediaan, keterjangkauan atau akses, dan pemanfaatan pangan merujuk pada publikasi yang sama dengan sumber data. Variabel-variabel dalam penelitian dijabarkan dalam Gambar 1 dan Tabel 3 sebagai berikut.



Gambar 1. Peta Ketahanan dan Kerentanan Pangan (*Food Security and Vulnerability Atlas-FSVA*) (Sumber: Badan Pangan Nasional, 2022)

Penjabaran dari variabel-variabel dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3.

Variabel Operasional		
Simbol	Keterangan	Skala Pengukuran
(1)	(2)	(3)
Y	Kategori suatu wilayah termasuk ke dalam wilayah tahan pangan atau tidak tahan pangan	Nominal
X <sub>1</sub>	Perbandingan konsumsi normatif per kapita terhadap ketersediaan pangan (sereal dan umbi-umbian)	Rasio
X <sub>2</sub>	Persentase penduduk miskin yaitu penduduk yang hidup di bawah garis kemiskinan	Rasio

Simbol	Keterangan	Skala Pengukuran
(1)	(2)	(3)
X <sub>3</sub>	Persentase rumah tangga yang memiliki proporsi pengeluaran untuk pangan lebih dari 65%	Rasio
X <sub>4</sub>	Persentase rumah tangga yang tidak memiliki akses listrik	Rasio
X <sub>5</sub>	Persentase rumah tangga yang tidak memiliki akses ke air bersih	Rasio
X <sub>6</sub>	Rata-rata lama sekolah penduduk berjenis kelamin perempuan yang berusia di atas 15 tahun	Rasio
X <sub>7</sub>	Rasio jumlah penduduk per tenaga kesehatan terhadap tingkat kepadatan penduduk	Rasio
X <sub>8</sub>	Angka harapan hidup	Rasio
X <sub>9</sub>	Persentase balita yang memiliki tinggi badan di bawah standar ( <i>stunting</i> )	Rasio

### Analisis Data

Data yang digunakan harus melalui tahapan persiapan sesuai dengan proses bisnis CRISP-DM agar dapat digunakan secara optimal. Dalam penelitian ini, metode preprocessing yang diterapkan adalah *k-means*. Penggunaan metode *k-means* diharapkan mampu membedakan wilayah dengan kriteria tahan pangan maupun rawan pangan melalui karakteristik wilayahnya masing-masing yang dapat dilihat dari nilai variabel-variabel yang mempengaruhinya (Priambodo & Prasetyo, 2018). Metode tersebut digunakan untuk membentuk kluster dari variabel-variabel ketahanan pangan menjadi 2 kluster yang selanjutnya akan digunakan sebagai variabel respons dalam pemodelan GWLR.

### Analisis Kluster (*Clustering Analysis*)

Analisis kluster adalah bentuk pengaplikasian dari metode *unsupervised learning* yang melakukan pengelompokan data secara alami berdasarkan karakteristik tertentu. Hasil dari pengelompokan yang terbentuk akan dikatakan tepat apabila objek dalam satu kelompok memiliki tingkat kemiripan yang tinggi dan tingkat kemiripan yang rendah antar kelompok (Suraya & Wijayanto, 2022). Pengukuran kedekatan antar objek dilakukan perhitungan dengan menggunakan "jarak *euclidean*" (Mahmudan, 2020) dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$d_{(i,j)} = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2 + \dots + (x_{in} - x_{jn})^2} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- $d_{(i,j)}$  : Jarak *euclidean* antar objek
- $x_{in}$  : Titik data objek-i pada variable-n
- $x_{jn}$  : Titik data objek-j pada variable-n

Analisis kluster terbagi menjadi 2 metode, yaitu metode hierarki dan partisi. Metode pengelompokan hierarki diterapkan dengan membuat suatu hierarki atau tingkatan dari sekumpulan data, sedangkan pengelompokan partisi (non-hierarki) diterapkan dengan memilah observasi ke dalam setiap kluster yang ada. Dalam analisis ini, tahapan awal yang perlu dilakukan adalah menentukan jumlah kluster optimal untuk setiap metode yang akan diterapkan. Pada penelitian ini, metode pengelompokan hanya menggunakan metode non-hierarki dengan *k-means*, karena metode ini diharapkan mampu membedakan wilayah tahan pangan dan rawan pangan melalui karakteristik wilayahnya masing-masing yang dapat dilihat dari nilai variabel-variabel yang mempengaruhinya (Priambodo & Prasetyo, 2018).

Menurut Dewi & Pramita (2019), terdapat beberapa cara untuk menentukan jumlah kluster optimal, seperti metode *elbow*, koefisien *silhouette*, *gap statistic*, *cross validation*, dan *partition entropy*. Dalam penelitian ini, pendekatan yang digunakan untuk menentukan jumlah kluster adalah metode *elbow* dan *silhouette*. Penentuan jumlah kluster optimum dengan metode *Elbow* dilakukan dengan membandingkan nilai *Total Within Sum of Square* dari setiap kluster. Jumlah kluster optimum terjadi saat plot *elbow* membentuk sudut siku yang artinya bahwa penurunan *Total Within Sum of Square* tidak signifikan. Sementara itu, metode *silhouette* bekerja dengan membuat grafik antara jumlah kluster tertentu dengan nilai koefisien *Silhouette*. Jumlah kluster optimum terjadi saat grafik garis pada posisi tertinggi yang artinya bahwa nilai koefisien *silhouette* yang dihasilkan pada kluster tersebut merupakan yang terbesar.

#### **Metode K-means**

*K-means* adalah suatu algoritma sederhana yang membagi objek ke dalam sejumlah *k* kluster. Setiap objek dikelompokkan menjadi sebuah kelompok menurut titik pusat yang paling dekat ke objek terkait. Dalam metode ini, setiap kelompok akan direpresentasikan dengan nilai rerata dari objek-objek dalam kluster terkait (Suraya & Wijayanto, 2022). Tahapan pembentukan kluster menggunakan *k-means clustering* adalah sebagai berikut: menentukan jumlah *k*-cluster awal yang diinginkan, menentukan *k-centroid* awal secara random, menghitung jarak menggunakan jarak *euclidean* untuk menentukan objek akan dimasukkan ke kluster berdasarkan rata-rata terdekat; menghitung rata-rata ulang untuk mendapatkan objek baru atau hilangnya objek pada kluster; dan melakukan iterasi atau pengulangan langkah kedua sampai tidak ada objek antar kluster yang berpindah (Gustientiedina et al., 2019).

Untuk mengetahui variabel mana saja yang mempengaruhi status ketahanan pangan, maka model yang tepat digunakan adalah model regresi logistik dimana model tersebut digunakan untuk menganalisis hubungan antara variabel respon (dependen) dan variabel independen dengan variabel respon berskala ordinal atau nominal dengan 2 kategori atau lebih (Susetyoko et al., 2022).

#### **Model Regresi Logistik**

Menurut Parwodiwiyono (2023), dalam model regresi logistik (reglog), persamaan yang dapat merepresentasikan model tersebut dengan variabel bebas sebanyak *k* adalah sebagai berikut:

$$\pi(x) = \exp(\beta^T x) \frac{\exp(\beta^T x)}{1 + \exp(\beta^T x)} \dots \dots \dots (2)$$

dimana  $x = [1 \ x_1 \ \dots \ x_k]^T$  merupakan vektor yang berisi variabel prediktor, dan  $\beta^T = [\beta_0 \ \beta_1 \ \dots \ \beta_k]$  merupakan vektor yang berisi parameter koefisien.

Untuk mengetahui apakah variabel prediktor signifikan mempengaruhi variabel respons dapat dilakukan pengujian hipotesis terhadap parameter model secara simultan dengan uji Z dan pengujian signifikansi secara parsial dengan menggunakan uji *Wald*.

**Asumsi Model Regresi Logistik**

Asumsi normalitas, homoskedastisitas, dan non-autokorelasi tidak diperlukan pada regresi logistik, karena variabel respon yang digunakan berupa *dummy*, sehingga tidak diperlukan pengujian tersebut terhadap residualnya. Namun demikian, pemeriksaan multikolinearitas perlu tetap dilakukan karena pemeriksaan tersebut hanya melibatkan variabel prediktor. Salah satu cara untuk mendeteksi multikolinearitas ialah melalui nilai  $R^2$ . Apabila diperoleh nilai  $R^2$  tinggi, maka hal tersebut mengindikasikan terjadinya multikolinearitas (Hastuti, 2022).

**Model GWLR**

Pemodelan dengan GWLR merupakan evolusi dari pemodelan regresi logistik dengan pertimbangan faktor lokasi melalui fungsi pembobot dengan variabel dependen bersifat kategorik (Solekha & Qudratullah, 2022). Dengan demikian, variabel dependen dapat diprediksi oleh variabel independen tergantung dari lokasi pengamatan. Menurut Lestari et al. (2020), persamaan model GWLR dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\pi(x_i) = \frac{\exp(\beta_0(u_i, v_i) + \sum_{j=1}^p \beta_j(u_i, v_i)x_{ij})}{1 + \exp(\beta_0(u_i, v_i) + \sum_{j=1}^p \beta_j(u_i, v_i)x_{ij})} \dots \dots \dots (3)$$

Menurut Lestari et al. (2020), hasil transformasi logit yang diperoleh untuk model GWLR adalah sebagai berikut:

$$g(x_i) = \ln\left(\frac{\pi(x_i)}{1 - \pi(x_i)}\right) = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{j=0}^p \beta_j(u_i, v_i)x_{ij} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

- $\pi(x_i)$  : Nilai probabilitas dari data ke-*i*
- $\beta_j(u_i, v_i)$  : Koefisien dari variabel *j*
- $u_i$  : Lintang data ke-*i*
- $v_i$  : Bujur data ke-*i*

**Pembobot Kernel Model GWLR**

Fungsi pembobot *fixed* kernel merupakan fungsi pembobot dengan nilai *bandwidth* yang sama di setiap lokasi observasi. Sebaliknya, fungsi pembobot *adaptive* kernel merupakan fungsi pembobot dengan *bandwidth* yang berbeda di setiap lokasi observasi (Pamungkas et al., 2016). Penerapan fungsi pembobot *fixed* kernel dinilai kurang tepat apabila terdapat banyak lokasi yang hanya memiliki sedikit titik observasi yang tersedia untuk mengkalibrasi model atau titik observasi, jauh dari pusat lokasi yang menyebabkan *weak data* (Fotheringham et al., 2002). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pada penelitian ini akan digunakan fungsi pembobot *adaptive* kernel untuk mengurangi indikasi *weak data* dengan mengatur varian berdasarkan densitas data.

Menurut Fotheringham et al. (2003), fungsi pembobot *adaptive* kernel dikelompokkan sebagai berikut:

*Adaptive Gaussian Kernel*

$$w_i(u_i, v_i) = \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{d_{ij}}{h_{i(q)}} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (5)$$

*Adaptive Bi-Square Kernel*

$$w_i(u_i, v_i) = \begin{cases} \left[ 1 - \left( \frac{d_{ij}}{h} \right)^2 \right]^2, & \text{apabila } d_{ij} \leq h \\ 0, & \text{apabila } d_{ij} > h \end{cases} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

- $h$  : Nilai bandwidth optimum berdasarkan lokasi observasi ke-i
- $d_{ij}$  : Jarak *Euclidean* antarlokasi observasi

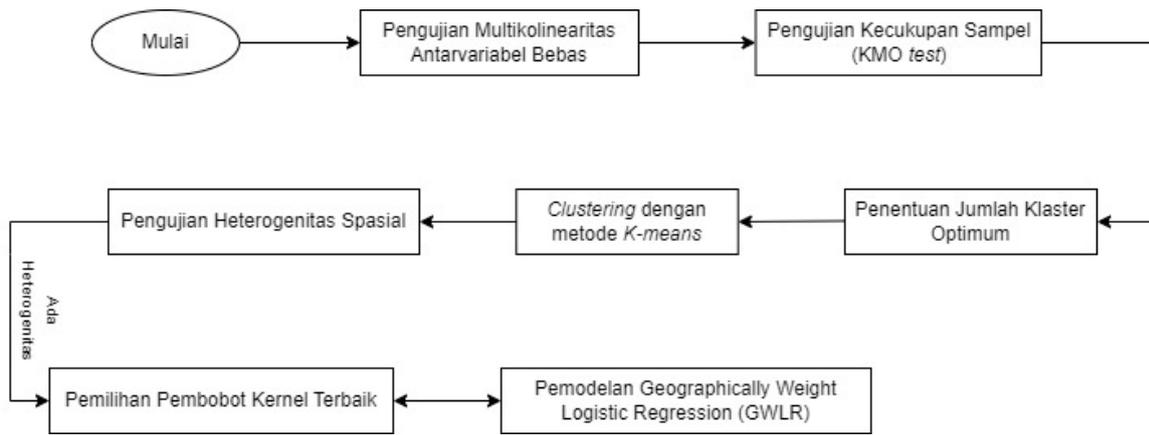
Pada penelitian ini, untuk menentukan *bandwidth* optimum pada model GWLR dengan fungsi pembobot *adaptive* kernel terbaik dipilih berdasarkan nilai *Akaike Information Criterion corrected* (AICc) terkecil (Fatimah et al., 2015).

**Heterogenitas Spasial**

Heterogenitas spasial atau keberagaman spasial adalah suatu kondisi ketika variabel independen atau variabel bebas memberikan pengaruh yang berbeda untuk setiap lokasi pengamatan yang berbeda dalam suatu wilayah tertentu (Kusnandar et al., 2021). Perbedaan pengaruh tersebut dapat terjadi karena adanya perbedaan karakteristik suatu wilayah dengan wilayah lainnya, baik itu karena aspek geografis, sosial, budaya, maupun faktor lainnya. Dalam penelitian ini, pengujian keberadaan heterogenitas spasial dilakukan dengan menggunakan uji *Breusch Pagan* dan uji *Koenker-Basset*. Adapun keputusan dari kedua pengujian tersebut akan menyatakan tolak hipotesis nol apabila *p-value* yang dihasilkan kurang dari tingkat signifikansi yang digunakan, yang mana menunjukkan bahwa terjadi heterogenitas spasial.

**Tahapan Analisis**

Terdapat beberapa tahapan analisis yang akan dilakukan untuk mengelompokkan seluruh kabupaten/kota di Indonesia berdasarkan ketahanan pangannya. Pertama, semua variabel yang digunakan diperiksa secara menyeluruh dan disesuaikan dengan kebutuhan pengolahan yang akan dilakukan. Pemeriksaan yang dimaksud termasuk pemeriksaan multikolinearitas yang dilakukan dengan melihat korelasi parsial antarvariabel bebas. Setelah dipastikan bahwa tidak terjadi multikolinieritas, pengujian kelayakan sampel dilakukan menggunakan metode *Kaiser Meyer Olkin* (KMO) dengan hipotesis nol yang menyatakan bahwa sampel cukup dan layak untuk dianalisis. Sebelum masuk ke *clustering*, perlu ditentukan terlebih dahulu jumlah kluster optimum yang dapat terbentuk dari amatan menggunakan metode *elbow* dan *silhouette*. Kemudian, *clustering* dilakukan untuk melihat pola pengelompokkan alami dari data dengan menggunakan metode *k-means*. Kemudian akan diuji keberagaman spasial dari data yang digunakan. Jika terdapat heterogenitas spasial, pemodelan akan dilanjutkan dengan menggunakan GWLR. Untuk memperoleh model yang paling baik dalam menggambarkan kondisi ketahanan pangan pada kabupaten/kota di Indonesia, akan dilakukan pemilihan pembobot kernel yang memberikan model dengan nilai AICc terkecil. Setelah itu, model GWLR dapat dibangun dengan langkah-langkah sebagai berikut: melakukan estimasi untuk model GWR secara global; mencari *bandwith* terbaik yang akan digunakan melalui *golden selection*, yang mana *bandwith* digunakan untuk mengestimasi model lokal atau model GWLR; serta melakukan pengujian parameter model GWLR, baik secara keseluruhan maupun individu. Tahapan pemilihan pembobot kernel dan pemodelan GWLR dapat dilakukan berulang hingga menemukan model dengan AICc terkecil.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemeriksaan Multikolinearitas Antarvariabel Bebas

Pemeriksaan multikolinearitas penting dilakukan agar diperoleh hasil terbaik. Akibat adanya korelasi antar variabel bebas yaitu hasil estimasi menjadi tidak akurat. Oleh karena itu, dilakukan pemeriksaan korelasi dengan tujuan untuk memilih variabel bebas yang selanjutnya akan digunakan dalam analisis. Pemeriksaan multikolinearitas dilakukan terhadap 9 variabel bebas yang digunakan dalam penelitian.

Berdasarkan hasil analisis, tidak ada 2 variabel yang memiliki korelasi di atas 0,8 (Tabel 4). Korelasi terkuat terjadi antara variabel persentase rumah tangga yang tidak memiliki akses ke air bersih ( $X_5$ ) dan rata-rata lama sekolah penduduk berjenis kelamin perempuan yang berusia di atas 15 tahun ( $X_6$ ), dengan nilai korelasi sebesar  $-0,63$ . Hal ini menandakan hubungan antara dua variabel tersebut negatif (berlawanan arah) dan hanya berada pada taraf sedang. Hubungan antarvariabel bebas lainnya lebih lemah dari dua variabel ini. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa tidak ada multikolinearitas antar variabel bebas yang digunakan dalam penelitian dan analisis lebih lanjut dapat dilakukan.

Tabel 4.

Korelasi Antarvariabel Independen

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
X1	1	0,39	0,11	0,41	0,43	-0,33	0,47	-0,4	0,29
X2	0,39	1	0,5	0,53	0,56	-0,51	0,38	-0,54	0,5
X3	0,11	0,5	1	0,29	0,52	-0,56	0,15	-0,38	0,45
X4	0,41	0,53	0,29	1	0,52	-0,45	0,44	-0,38	0,41
X5	0,43	0,56	0,52	0,52	1	-0,63	0,41	-0,52	0,47
X6	-0,33	-0,51	-0,56	-0,45	-0,63	1	-0,3	0,37	-0,4
X7	0,47	0,38	0,15	0,44	0,41	-0,3	1	-0,34	0,25
X8	-0,4	-0,54	-0,38	-0,38	-0,52	0,37	-0,34	1	-0,59
X9	0,29	0,5	0,45	0,41	0,47	-0,4	0,25	-0,59	1

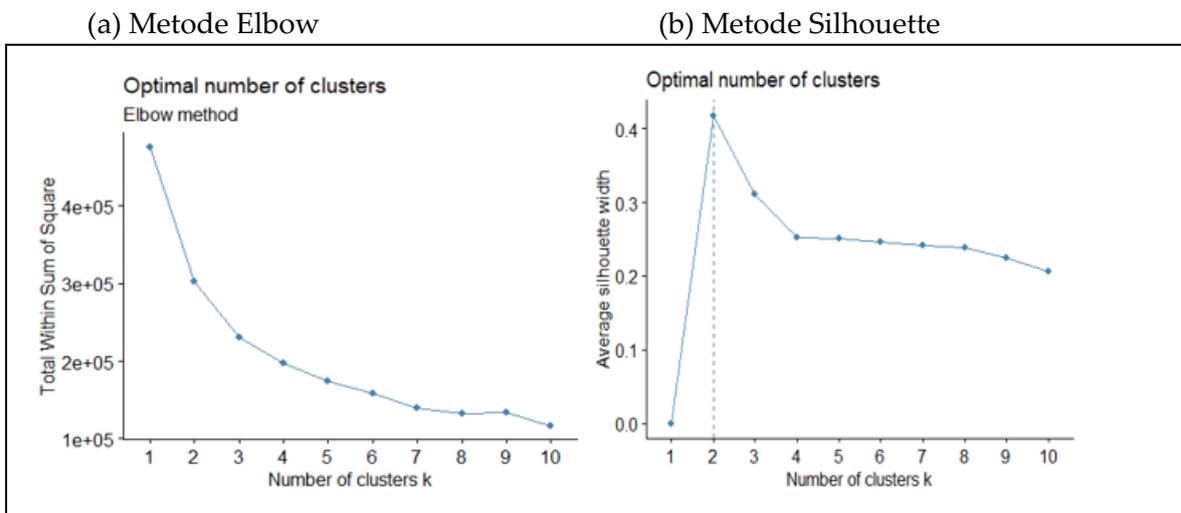
### Pengujian Kecukupan Sampel Menggunakan KMO Test

Berdasarkan hasil pengujian kecukupan sampel, didapatkan nilai KMO sebesar 0,88. Nilai ini lebih dari 0,5 yang dianggap sebagai *cut off* kecukupan sampel, sehingga dapat

disimpulkan bahwa sampel yang digunakan sudah cukup dan dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.

### Penentuan Jumlah Kluster Optimum

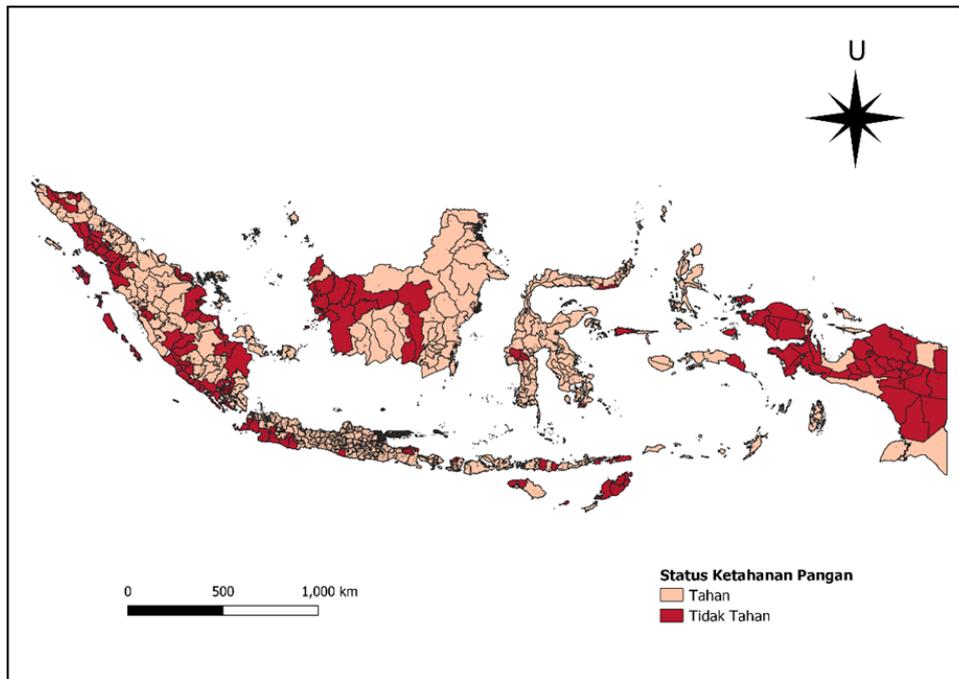
Penentuan jumlah kluster optimum menggunakan metode *Elbow* dan *Silhouette* perlu dilakukan sebelum membentuk kluster data. Metode *Elbow* memberikan kesimpulan bahwa setelah mencapai kluster ke-2, grafik mulai melandai yang menandakan banyaknya kluster optimum yang terbentuk adalah 2 kluster (Gambar 3a). Selanjutnya, hal yang sama juga ditunjukkan pada grafik garis dengan metode *Silhouette* yang menghasilkan garis semu berada pada kluster ke-2 yang menandakan bahwa banyaknya kluster yang terbentuk secara optimal adalah sebanyak 2 kluster (Gambar 3b).



Gambar 3. Penentuan Jumlah Kluster Optimum (Sumber: Hasil Olah Data, 2023)

### Pembentukan Kluster dengan Metode *K-means*

Dalam metode kluster *k-means*, setiap objek dikelompokkan berdasarkan seberapa dekat objek tersebut dengan titik pusat (*centroid*) kluster terdekat. Hasil pengelompokan kabupaten/kota di Indonesia menurut indikator ketahanan pangan menunjukkan bahwa terdapat 126 kabupaten/kota berstatus tidak tahan pangan dan 388 kabupaten/kota berstatus tahan pangan (Gambar 4). Berdasarkan peta tersebut diketahui bahwa sebagian besar (> 50%) daerah sudah berstatus tahan pangan. Kondisi tersebut mengisyaratkan bahwa status ketahanan pangan di Indonesia sudah cukup baik. Setelah memperoleh status ketahanan pangan untuk setiap kabupaten/kota, dilakukan pemodelan regresi logistik dengan status ketahanan pangan hasil kluster sebagai variabel responsnya.



Gambar 4. Peta Sebaran Status Ketahanan Pangan Indonesia (Sumber: Hasil Olah Data, 2023)

### Pengujian Heterogenitas Spasial

Berdasarkan pengujian heterogenitas spasial menggunakan uji *Breusch-Pagan*, diperoleh nilai statistik sebesar 71.2306 dengan *p-value* sebesar 0.0000 (Tabel 5). Selanjutnya, hasil pengujian *Koenker-Basset* juga menghasilkan *p-value* sebesar 0.0000 yang berarti bahwa keputusan yang diperoleh adalah tolak hipotesis nol (Tabel 5). Hal ini menunjukkan bahwa pada tingkat signifikansi 5%, terdapat cukup bukti untuk menyatakan bahwa terjadi heterogenitas spasial dalam varians error.

Tabel 5.  
Uji Heterogenitas Spasial

Nama Uji	DF	Value	Prob.
(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Breusch-Pagan</i>	9	71,2306	0,0000
<i>Koenker-Basset</i>	9	79,2468	0,0000

Sumber: Hasil Olah Data (2023)

Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa terdapat keberagaman antarwilayah dalam hal ketahanan pangan kabupaten/kota di Indonesia. Dengan demikian, pemodelan GWLR cocok untuk diterapkan karena dapat mengakomodasi masalah tersebut.

### Pemilihan Pembobot Kernel Terbaik

Pemilihan pembobot kernel terbaik yang digunakan dalam pemodelan GWLR ditentukan berdasarkan kriteria AICc. Dengan membandingkan kedua AICc, diperoleh bahwa AICc kernel *adaptive bisquare* lebih kecil dari *adaptive gaussian*. Dalam hal ini, semakin kecil nilai AICc, maka semakin baik model dengan pembobot yang terbentuk. Berdasarkan hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa model GWLR dengan kernel *Adaptive Gaussian*

lebih baik daripada model GWLR dengan kernel lain karena memiliki nilai AICc terkecil yaitu 59,218411 (Tabel 6).

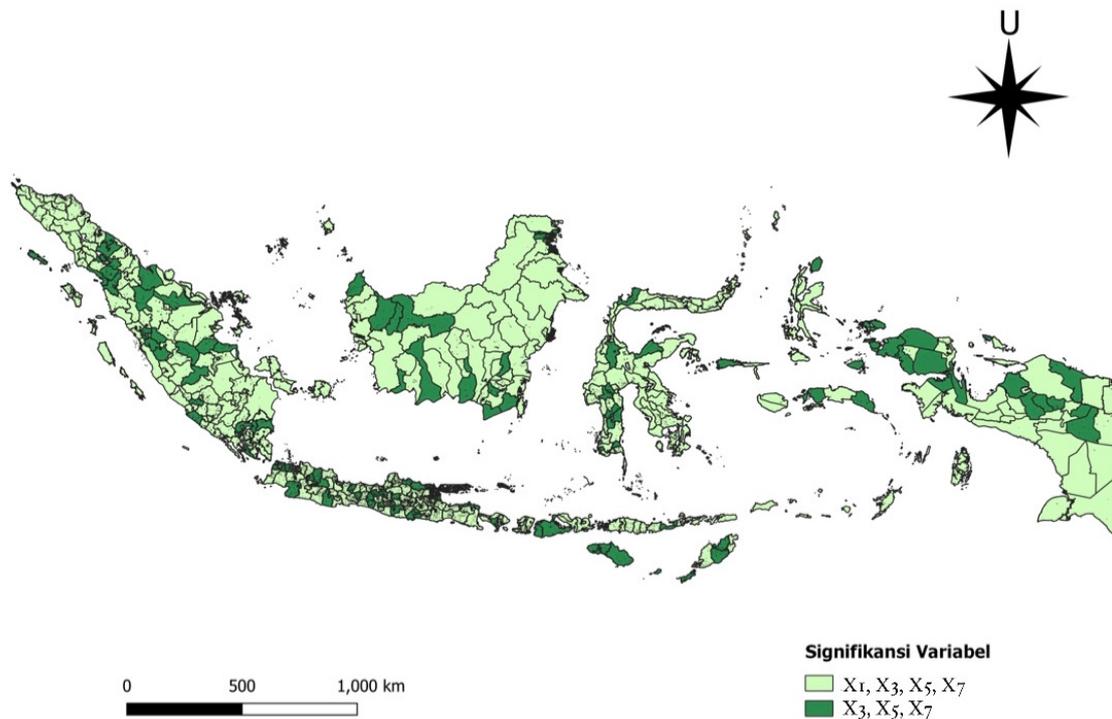
Tabel 6.  
Pemilihan Pembobot Kernel Terbaik

Model	AICc	Percent Deviance
(1)	(2)	(3)
<i>Adaptive Gaussian</i>	59,218411	0,921700
<i>Adaptive Bisquare</i>	61.893320	0.932554

Sumber: Hasil Olah Data (2023)

### Pemodelan GWLR

Berdasarkan hasil pemodelan GWLR, terdapat 2 kelompok variabel bebas yang berpengaruh signifikan terhadap status ketahanan pangan pada kabupaten/kota di Indonesia (Gambar 5). Secara global, variabel yang mempengaruhi status ketahanan pangan adalah proporsi pengeluaran suatu rumah tangga untuk pangan lebih dari 65% (X3), proporsi rumah tangga yang tidak memiliki akses air bersih (X5), dan rasio jumlah penduduk per tenaga kesehatan terhadap tingkat kepadatan penduduk (X7). Adapun di beberapa kabupaten/kota hanya variabel rasio konsumsi normatif per kapita terhadap ketersediaan pangan (X1) yang berpengaruh terhadap status ketahanan pangan secara lokal.



Gambar 5. Peta Sebaran Variabel Signifikan Mempengaruhi Status Ketahanan Pangan Indonesia Tahun 2022 (Sumber: Hasil Olah Data, 2023)

Menurut Sinaga et al. (2014), proporsi pengeluaran pangan berpengaruh signifikan terhadap status ketahanan pangan, karena semakin tinggi proporsi pengeluaran untuk konsumsi pangan berarti meningkatkan peluang rumah tangga dapat membeli pangan dengan kualitas gizi yang baik. Selanjutnya, konsumsi rumah tangga terhadap air bersih juga berpengaruh terhadap peningkatan status ketahanan pangan di suatu daerah. Dengan

demikian, kemudahan akses penduduk untuk mendapat air bersih menjadi indikator dalam mengukur seberapa baik tingkat ketahanan di daerah tersebut (Wulandari, 2016). Rochmah & Ratnasari (2020) menyatakan bahwa rasio jumlah penduduk per tenaga kesehatan terhadap tingkat kepadatan penduduk berpengaruh signifikan terhadap status ketahanan pangan suatu wilayah. Dari beberapa penelitian tersebut, diduga bahwa rasio jumlah penduduk per tenaga kesehatan terhadap tingkat kepadatan penduduk memiliki hubungan negatif terhadap status ketahanan pangan. Artinya, ketika suatu wilayah mengalami penurunan rasio jumlah penduduk per tenaga kesehatan terhadap tingkat kepadatan penduduk maka wilayah tersebut lebih berpeluang menjadi wilayah dengan status ketahanan pangan yang rendah.

Pengujian parameter model dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan pangan di setiap kabupaten/kota. Dalam penelitian ini, akan digunakan dua kabupaten sebagai contoh interpretasi model, yaitu Kabupaten Tabanan yang memiliki indeks ketahanan pangan tertinggi di Indonesia dan Kabupaten Nduga yang memiliki nilai indeks ketahanan pangan yang paling rendah di Indonesia. Berdasarkan Peraturan Presiden No. 83 Tahun 2017 sebagai upaya tindak lanjut dari Rencana Aksi Nasional Pangan dan Gizi (RAN-PG) yang ditujukan sebagai pedoman dalam mengatasi masalah pemenuhan pangan di daerah, setiap daerah merancang rencana aksi untuk tingkat daerah masing-masing (RAD-PG).

Upaya peningkatan ketahanan pangan masyarakat di Kabupaten Tabanan, Provinsi Bali, dilakukan melalui pemenuhan 4 jenis pelayanan, yaitu peningkatan produksi, ketersediaan, dan konsumsi pangan berkualitas; program sistem pertanian organik (SPO); program peningkatan nilai tambah dan daya saing; serta program pengembangan kelembagaan petani terintegrasi hulu-hilir berbasis kawasan (DISTANPANGAN, 2022). Adapun strategi yang dapat dilakukan oleh pemerintah daerah ialah pemenuhan pangan masyarakat terutama masyarakat transien dan kronis, pemberdayaan masyarakat melalui edukasi, pemanfaatan sumber daya lokal, dan melakukan koordinasi dengan berbagai pihak. Sementara itu, Provinsi Papua menetapkan RAD-PG yang meliputi terpenuhinya lima pilar, yaitu perbaikan gizi masyarakat, mutu dan keamanan pangan, aksesibilitas pangan, perilaku hidup bersih dan sehat, serta kelembagaan pangan dan gizi. Salah satu tindak lanjut dari RAD-PG tersebut dilakukan dengan meningkatkan produksi dan kemandirian pangan lokal masyarakat dengan memanfaatkan lahan kosong, serta pengelolaan komoditas lokal secara berkelanjutan.

Berdasarkan hasil *clustering* diketahui bahwa Kabupaten Nduga termasuk dalam kategori tidak tahan pangan. Dari tabel di atas, diketahui terdapat empat variabel yang signifikan terhadap model. Variabel-variabel tersebut adalah perbandingan konsumsi normatif per kapita terhadap ketersediaan pangan (serealia dan umbi-umbian) (X1), proporsi pengeluaran suatu rumah tangga untuk pangan lebih dari 65 persen (X3), persentase rumah tangga yang tidak memiliki akses ke air bersih (X5), dan rasio jumlah penduduk per tenaga kesehatan terhadap tingkat kepadatan penduduk (X7). Adapun model estimasi GWLR untuk kategori status ketahanan pangan di Kabupaten Nduga dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 7.  
 Parameter Kabupaten Tabanan

Parameter	Estimasi	t <sub>hit</sub>	Odds Ratio
(1)	(2)	(3)	(4)
$\beta_0$	-36.8966	-4.805765	0.000000
$\beta_1$	0.554408	1.677072	1.740910
$\beta_2$	0.347171	4.648258*)	1.415059
$\beta_3$	0.670859	5.220902*)	1.955917
$\beta_4$	-0.235145	-0.681278	0.790456
$\beta_5$	0.166212	2.340241*)	1.180823

\*) parameter yang berpengaruh signifikan pada  $\alpha = 0.05$  (Sumber: Hasil Olah Data, 2023)

Berdasarkan hasil *clustering* telah diketahui bahwa Kabupaten Tabanan termasuk dalam kategori tahan pangan. Adapun upaya peningkatan ketahanan pangan masyarakat di Kabupaten Tabanan, dilakukan dengan pemenuhan empat jenis pelayanan, yaitu ketersediaan dan cadangan pangan, penganeekaragaman dan keamanan pangan, distribusi dan akses pangan, serta penanganan kerawanan pangan. Dari Tabel 7 di atas, diketahui terdapat tiga variabel yang signifikan terhadap model. Ketiga variabel tersebut, yaitu proporsi pengeluaran suatu rumah tangga untuk pangan lebih dari 65 persen (X3), persentase rumah tangga yang tidak memiliki akses ke air bersih (X5), dan rasio jumlah penduduk per tenaga kesehatan terhadap tingkat kepadatan penduduk (X7). Adapun model estimasi GWLR untuk kategori status ketahanan pangan di Kabupaten Tabanan dijelaskan pada Persamaan 7 sebagai berikut:

$$g(x) = -36.8966 + 0.554408X_1 + 0.347171X_3 + 0.670859X_5 - 0.235145X_6 + 0.166212X_7 \dots\dots\dots(7)$$

Tabel 8.  
 Parameter Kabupaten Nduga

Parameter	Estimasi	t <sub>hit</sub>	Odds Ratio
(1)	(2)	(3)	(4)
$\beta_0$	-45.4677	-4.44236	0.000000
$\beta_1$	0.817694	2.129859*)	2.26527
$\beta_2$	0.43275	4.316348*)	1.541491
$\beta_3$	0.822907	4.6099077*)	2.27711
$\beta_4$	-0.30543	-0.78702	0.736806
$\beta_5$	0.152403	2.325834*)	1.164629

\*) parameter yang berpengaruh signifikan pada  $\alpha = 0.05$  (Sumber: Hasil Olah Data, 2023)

$$g(x) = -45.4677 + 0.817694X_1 + 0.43275X_3 + 0.822907X_5 - 0.30543X_6 + 0.152403X_7 \dots\dots\dots(8)$$

Berdasarkan hasil estimasi pada Persamaan 8, Kabupaten Nduga berpeluang untuk memiliki status tahan pangan jika terjadi peningkatan proporsi pengeluaran suatu rumah tangga untuk pangan lebih dari 65%, peningkatan persentase rumah tangga yang tidak memiliki akses ke air bersih, dan peningkatan rasio jumlah penduduk per tenaga kesehatan terhadap tingkat kepadatan penduduk. Selain itu, untuk memperoleh status tahan pangan Kabupaten Nduga juga harus mengupayakan peningkatan perbandingan konsumsi normatif per kapita terhadap ketersediaan pangan (sereal dan umbi-umbian). Sedangkan dari Tabel 8, persentase rumah tangga yang tidak memiliki akses listrik tidak signifikan mempengaruhi status ketahanan pangan Kabupaten Tabanan. Jadi, apabila terjadi perubahan baik peningkatan maupun penurunan pada variabel prediktor yang tidak signifikan tersebut, tidak akan mempengaruhi status ketahanan pangan Kabupaten Tabanan secara signifikan.

Berdasarkan hasil tersebut, pemerintah daerah setempat dapat lebih memperhatikan perubahan pada variabel-variabel yang secara signifikan memengaruhi status ketahanan pangan daerahnya. Untuk Kabupaten Tabanan, harapannya pemerintah daerah setempat dapat menjaga kestabilan angka-angka pada ketiga variabel yang signifikan mempengaruhi status ketahanan pangan agar Kabupaten Tabanan tetap berada pada status tahan pangan. Sementara itu, Kabupaten Nduga perlu dilakukan pengambilan kebijakan yang tepat terkait keempat aspek yang signifikan agar mencapai kondisi tahan pangan.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa jumlah *cluster* optimum adalah dua *cluster* yang dibedakan menjadi *cluster* tahan pangan sebanyak 388 kabupaten/kota dan *cluster* tidak tahan pangan sebanyak 126 kabupaten/kota. Adapun beberapa variabel yang berpengaruh signifikan terhadap status ketahanan pangan kabupaten/kota di Indonesia pada tahun 2020, yaitu variabel proporsi pengeluaran suatu rumah tangga untuk pangan lebih dari 65 persen (X3), persentase rumah tangga yang tidak memiliki akses ke air bersih (X5), rasio jumlah penduduk per tenaga kesehatan terhadap tingkat kepadatan penduduk (X7). Selain itu, variabel rasio konsumsi normatif per kapita terhadap ketersediaan pangan sereal dan umbi-umbian (X1) hanya berpengaruh signifikan pada beberapa kabupaten/kota.

Apabila variabel rasio konsumsi normatif per kapita terhadap ketersediaan pangan sereal dan umbi-umbian berpengaruh signifikan terhadap status ketahanan pangan, hal tersebut mengindikasikan bahwa masyarakat daerah tersebut berpendapatan rendah. Karena semakin rendah tingkat pendapatan, maka permintaan terhadap konsumsi pangan terutama karbohidrat semakin besar. Sebaliknya, semakin tinggi tingkat pendapatan, maka permintaan terhadap konsumsi pangan semakin beragam untuk memenuhi nilai gizi.

Dengan demikian, baik pemerintah pusat maupun pemerintah daerah perlu mengambil keputusan mendalam dengan memperhatikan perubahan pada beberapa variabel yang secara signifikan memengaruhi status ketahanan pangan. Adapun beberapa cara yang dapat dilakukan, yaitu berfokus pada peningkatan produksi dan distribusi bahan pokok bertujuan untuk meningkatkan ketersediaan pangan dalam pemenuhan gizi masyarakat, serta meninjau kembali pembangunan infrastruktur akses air bersih dan fasilitas kesehatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arif, S., Isdijoso, W., Fatah, A. R., & Tamyis, A. R. (2020). Tinjauan Strategis Ketahanan Pangan dan Gizi di Indonesia: Informasi Terkini 2019-2020. In *The SMERU Research Institute*.
- Badan Ketahanan Pangan. (2021). Indeks Ketahanan Pangan 2021. In *Badan Ketahanan Pangan* (Vol. 0, Issue 0).
- Dewi, D. A. I. C., & Pramita, D. A. K. (2019). Analisis Perbandingan Metode Elbow dan Silhouette pada Algoritma Clustering K-Medoids dalam Pengelompokan Produksi Kerajinan Bali. *Matrix : Jurnal Manajemen Teknologi Dan Informatika*, 9(3), 102–109. <https://doi.org/10.31940/matrix.v9i3.1662>
- DISTANPANGAN. (2022). *Capaian Ketahanan Pangan Provinsi Bali*. Bali: Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi Bali.
- Fatimah, E. N., Sukarsa, I. K. G., & Susilawati, M. (2015). *Pemodelan Risiko Penyakit Pneumonia pada Balita di Provinsi Jawa Timur dengan Pendekatan Geographically Weighted Logistic Regression*. September 2017, 31–36. <https://doi.org/10.24843/MTK.2015.v04.i02.p085>
- Fotheringham, A., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2003). *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. John Wiley & Sons.
- Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2002). *Geographically Weighted Regression: the analysis of spatially varying relationships*. John Wiley & Sons Ltd.
- Gustientiedina, G., Adiya, M. H., & Desnelita, Y. (2019). Penerapan Algoritma K-Means untuk Clustering Data Obat-Obatan pada RSUD Pekanbaru. *Jurnal Nasional Teknologi Dan Sistem Informasi*, 5(1), 17–24. <https://doi.org/10.25077/teknosi.v5i1.2019.17-24>
- Hadi, A., Rusli, B., & Alexandri, M. B. (2020). Dampak Undang-Undang Nomor 12 Tentang Pangan Terhadap Ketahanan Pangan Indonesia. *Responsive*, 2(3), 122. <https://doi.org/10.24198/responsive.v2i3.26085>
- Hastuti, T. (2022). *Penerapan Model Geographically Weighted Logistic Regression (GWLR) Dengan Fungsi Pembobot Adaptive Gaussian Kernel Pada Data Kemiskinan Di Indonesia*.
- Kusnandar, D., Debatara, N. N., & Fitriani, S. (2021). Pemodelan Sebaran Total Dissolved Solid Menggunakan Metode Mixed Geographically Weighted Regression. *Jurnal Aplikasi Statistika & Komputasi Statistik*, 13(1), 9–16.
- Lestari, F. D., Kusnandar, D., & Debatara, N. N. (2020). Estimasi Parameter Model Geographically Weighted Logistic Regression. *Buletin Ilmiah Matematika, Statistika, dan Terapannya*, 9(1), 159-164. doi:<http://dx.doi.org/10.26418/bbimst.v9i1.38681>
- Mahmudan, A. (2020). Clustering of District or City in Central Java Based COVID-19 Case Using K-Means Clustering. *Jurnal Matematika, Statistika Dan Komputasi*, 17(1), 1–13. <https://doi.org/10.20956/jmsk.v17i1.10727>
- Munikah, T., Pramoedyo, H., & Fitriani, R. (2014). Pemodelan Geographically Weighted Regression dengan Pembobot Fixed Gaussian Kernel pada Data Spasial ( Studi Kasus Ketahanan Pangan di Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan ). *Natural*, 2(3), 296–302.
- Pamungkas, R. A., Yasin, H., & Rahmawati, R. (2016). Perbandingan Model GWR Dengan Fixed dan Adaptive Bandwith Untuk Presentase Penduduk Miskin Di Jawa Tengah. *Jurnal Gaussian*, 5(3), 535–544.

- Parwodiwiyono, S. (2023). Model Statistik untuk Deteksi Status Ketahanan Pangan Rumah Tangga di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Kesehatan Samodra Ilmu*, 14(01), 13–17. <https://doi.org/10.55426/jksi.v14i01.240>
- Priambodo, Y. A., & Prasetyo, S. Y. J. (2018). Pemetaan Penyebaran Guru di Provinsi Banten dengan Menggunakan Metode Spatial Clustering K-Means (Studi kasus : Wilayah Provinsi Banten). *Indonesian Journal of Computing and Modeling*, 1(1), 18–27. <https://doi.org/10.24246/j.icm.2018.v1.i1.p18-27>
- Rochmah, V. F., & Ratnasari, V. (2020). Pemodelan Ketahanan Pangan di Jawa Timur Menggunakan Metode Geographically Weighted Ordinal Logistic Regression (GWOLR). *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 8(2). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v8i2.47021>
- Solekha, N. A., & Qudratullah, M. F. (2022). Pemodelan Geographically Weighted Logistic Regression dengan Fungsi Adaptive Gaussian Kernel terhadap Kemiskinan di Provinsi NTT. *Jambura Journal of Mathematics*, 4(1), 17–32. <https://doi.org/10.34312/jjom.v4i1.11452>
- Suraya, G. R., & Wijayanto, A. W. (2022). Comparison of Hierarchical Clustering, K-Means, K-Medoids, and Fuzzy C-Means Methods in Grouping Provinces in Indonesia according to the Special Index for Handling Stunting. *Indonesian Journal of Statistics and Its Applications*, 6(2), 180–201. <https://doi.org/10.29244/ijsa.v6i2p180-201>
- Suryana, A. (2014). Menuju Ketahanan Pangan Indonesia Berkelanjutan 2025 : Tantangan dan Penanganannya Toward Sustainable Indonesian Food Security 2025 : Challenges and Its Responses. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 32(2), 123–135.
- Susetyoko, R., Yuwono, W., Purwantini, E., & Ramadijanti, N. (2022). Perbandingan Metode Random Forest, Regresi Logistik, Naïve Bayes, dan Multilayer Perceptron Pada Klasifikasi Uang Kuliah Tunggal (UKT). *Jurnal Infomedia*, 7(1), 8. <https://doi.org/10.30811/jim.v7i1.2916>
- Sutrisno, A. D. (2022). Kebijakan Sistem Ketahanan Pangan Daerah. *Kebijakan: Jurnal Ilmu Administrasi*, 13(1), 28–42.
- Tono, Ariani, M., & Suryana, A. (2023). Kinerja Ketahanan Pangan Indonesia: Pembelajaran dari Penilaian dengan Kriteria Global dan Nasional. *Epublikasi.Pertanian.Go.Id*, 21(1), 1–20. <https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/akp/article/view/3067>
- Wulandari, M. (2016). Analisis Tingkat Ketahanan Pangan Terhadap Kerawanan Pangan di Kabupaten Jombang Tahun 2015. *Jurnal Nasional, kerawanan pangan*, 1–14.