

**PENERAPAN METODE *GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION*
(GWR) PADA PERTUMBUHAN EKONOMI SUMATERA UTARA
TAHUN 2022**

(Skripsi)

Oleh

**AFRA NABILLA ZURY
2057031002**



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENERAPAN METODE *GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION* (GWR) PADA PERTUMBUHAN EKONOMI SUMATERA UTARA TAHUN 2022

Oleh

AFRA NABILLA ZURY

Regresi yang baik memenuhi uji asumsi klasik dan menghasilkan Best Linear Unbiased Estimator (BLUE), tetapi metode Ordinary Least Square (OLS) tidak mampu mempertimbangkan variasi spasial antar wilayah, sehingga parameter yang dihasilkan konstan untuk semua lokasi. Data spasial menunjukkan bahwa variabel prediktor yang sama dapat menghasilkan respon berbeda di lokasi berbeda (heterogenitas spasial). *Geographically Weighted Regression* (GWR) mengatasi keterbatasan ini dengan mempertimbangkan faktor letak geografis untuk mengeksplorasi heterogenitas spasial, memberikan parameter yang berlaku secara lokal dan lebih akurat.

Penelitian ini membahas penggunaan GWR dalam analisis kinerja pertumbuhan ekonomi Sumatera Utara tahun 2022 dengan menggunakan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) sebagai indikator utama. Penelitian ini membandingkan hasil analisis GWR dengan fungsi pembobot *fixed* bisquare dengan regresi linear berganda berdasarkan hasil uji signifikansi, nilai AIC, dan *adjusted-R²*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa empat variabel independen, yaitu rata-rata lama sekolah, tingkat partisipasi angkatan kerja, pendapatan asli daerah, dan jumlah distribusi bahan bakar minyak memiliki dampak besar terhadap perkembangan ekonomi di Sumatera Utara. Penelitian ini mengindikasikan bahwa model GWR dengan kernel *fixed bisquare* lebih efektif dalam memodelkan PDRB di Provinsi Sumatera Utara pada tahun 2022 karena terbukti signifikan pada uji BFC02, memiliki nilai AIC yang lebih kecil, serta *adjusted-R²* sebesar 99,28%.

ABSTRACT

APPLICATION OF THE GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION (GWR) METHOD TO THE ECONOMIC GROWTH OF NORTH SUMATRA IN 2022

By

AFRA NABILLA ZURY

A good regression model meets the classical assumption tests and produces the Best Linear Unbiased Estimator (BLUE). However, the Ordinary Least Square (OLS) method cannot account for spatial variation between regions, resulting in constant parameters for all locations. Spatial data shows that the same predictor variables can produce different responses in different locations (spatial heterogeneity). Geographically Weighted Regression (GWR) addresses this limitation by considering geographic factors to explore spatial heterogeneity, providing locally applicable and more accurate parameters.

This study discusses the use of GWR in analyzing the economic growth performance of North Sumatra in 2022, using Gross Regional Domestic Product (GRDP) as the main indicator. The study compares the results of GWR with a fixed bisquare weighting function to multiple linear regression based on significance tests, AIC values, and adjusted-R².

The results show that four independent variables, namely average years of schooling, labor force participation rate, local revenue, and the amount of fuel distribution, have a significant impact on economic development in North Sumatra. This study indicates that the GWR model with a fixed bisquare kernel is more effective in modeling GRDP in North Sumatra Province in 2022 because it is proven significant in the BFC02 test, has a smaller AIC value, and an adjusted-R² of 99.28%.

**PENERAPAN METODE *GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION*
(GWR) PADA PERTUMBUHAN EKONOMI SUMATERA UTARA
TAHUN 2022**

Oleh

**AFRA NABILLA ZURY
2057031002**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA MATEMATIKA

Pada

Jurusan Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **PENERAPAN METODE
GEOGRAPHICALLY WEIGHTED
REGRESSION (GWR) PADA
PERTUMBUHAN EKONOMI SUMATERA
UTARA TAHUN 2022**

Nama Mahasiswa : *Afra Nabilla Zury*

Nomor Pokok Mahasiswa : 2057031002

Jurusan : Matematika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Widiarti
Widiarti, S.Si., M.Si.
NIP. 19800502 200501 2 003

Dina Eka Nurvazly
Dina Eka Nurvazly, S.Pd. M.Si.
NIP. 19931106 201903 2 018

2. Ketua Jurusan Matematika

Dr. Ang Nuryaman
Dr. Ang Nuryaman, S.Si., M.Si.
NIP. 19740316 200501 1 001

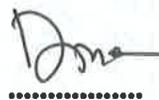
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

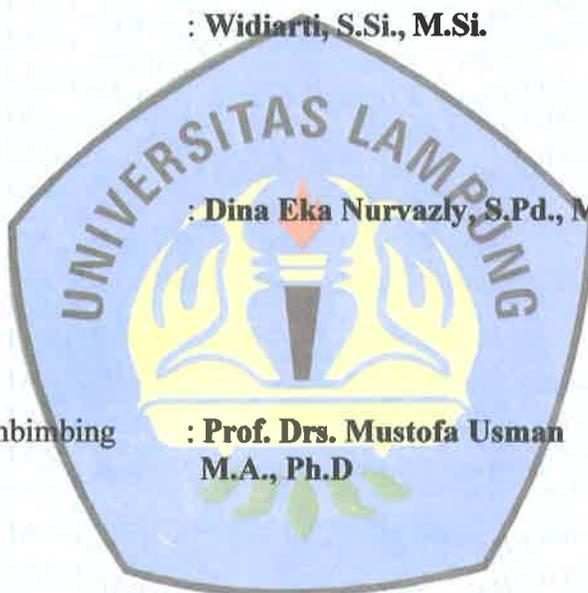
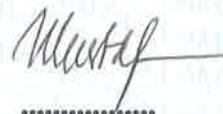
Ketua : Widiarti, S.Si., M.Si.



Sekretaris : Dina Eka Nurvazly, S.Pd., M.Si.

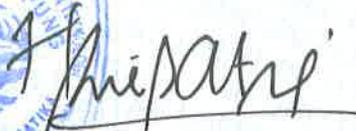


**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Drs. Mustofa Usman
M.A., Ph.D**



**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**




Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 13 Juni 2024

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Afra Nabilla Zury**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2057031002**

Jurusan : **Matematika**

Judul Skripsi : **PENERAPAN METODE *GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION* (GWR) PADA PERTUMBUHAN EKONOMI SUMATERA UTARA TAHUN 2022**

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 13 Juni 2024

Penulis,



Afra Nabilla Zury

NPM. 2057031002

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Afra Nabilla Zury, lahir di Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta pada tanggal 02 November 2001. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara pasangan Bapak Zuryasdi dan Ibu Aryanti.

Penulis mengawali pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Putra IV pada tahun 2006-2007 dan menempuh pendidikan dasar di SDN Saruni 1 pada tahun 2007-2013. Kemudian penulis melanjutkan jenjang pendidikannya di SMPI Al-Azhar 11 Serang pada tahun 2013-2016 dan Sekolah Menengah Atas di Pondok Pesantren La Tansa pada tahun 2016-2020. Setelah itu penulis diterima sebagai mahasiswi Program Studi S1 Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri Wilayah Barat (SMM PTN-Barat) pada tahun 2020.

Selama menjadi mahasiswi, penulis aktif di beberapa kegiatan di antaranya: aktif dalam kepengurusan organisasi HIMATIKA FMIPA Unila sebagai anggota Minat dan Bakat sejak tahun 2020-2022. Lalu menjabat sebagai Bendahara Umum Himpunan Mahasiswa Banten-Lampung pada tahun 2023.

Kemudian pada Bulan Januari-Februari 2023 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di ATR/BPN Kota Serang. Selanjutnya pada bulan Juni-Agustus 2023, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Kalidadi, Kecamatan Kalirejo, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung.

KATA INSPIRASI

“مَنْ سَارَ عَلَى الدَّرْبِ وَصَلَ”

“Tak ada jalan pintas ke tempat yang layak dituju”

(Beverly Sills)

“Indeed, with hardship [will be] ease”

(QS. Al-Insyirah: 5)

“Dan sebaik-baiknya manusia adalah orang yang bermanfaat bagi orang yang lain.”

(HR. Ath-Thabrani)

“Mengambil risiko bukan berarti tanpa perhitungan, melainkan memilih untuk percaya pada diri sendiri dan menghadapi ketidakpastian dengan keberanian.”

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahilabbil'amin,

Hari ke hari, minggu ke minggu, bulan ke bulan, akhirnya tibalah saat pekerjaan besar ini selesai. Dengan mengharap rahmat dan keridhaan Allah SWT. Ku persembahkan karya ini untuk:

Kedua orang tua tercinta:

Ayah dan Ibuku, dua insan sejoli yang ku sayang, yang memberikan kasih sayang, dukungan moral dan batin dan doa yang tiada henti. Semoga karya sederhana ini menjadi bukti kecil dari rasa terima kasihku yang tak terhingga.

Kepada Adik-adik kecil yang amat ku sayangi:

Muhammad Fadli Insani, Aulia Hanifa Zury, Nindya Delisha Zury

Bapak Ibu Dosen Pembimbing dan Pembahas.

Terimakasih telah memberikan cinta dan kasih sayangnya.

Terimakasih telah memberikan doa, dukungan, serta semangatnya.

Terimakasih telah memberikan kesabarannya.

SANWACANA

Puji syukur atas kehadiran Allah Swt. berkat rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Penerapan Metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) Pada Pertumbuhan Ekonomi Sumatera Utara Tahun 2022”.

Terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik langsung maupun tidak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Widiarti, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing I yang telah dengan sabar membimbing, memotivasi, dan memberikan arahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan tepat waktu.
2. Ibu Dina Eka Nurvazly, S.Pd., M.Si. selaku Pembimbing II yang telah memberikan dukungan, arahan, masukan, dan waktunya untuk membimbing dalam proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Drs. Mustofa Usman, M.A., Ph.D. selaku Pembahas atas kesediannya untuk menguji dan dengan sabar memberikan masukan, kritik, dan saran.
4. Ibu Dr. Fitriani, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik yang senantiasa memberikan motivasi dan membimbing selama menjalani perkuliahan.
5. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Matematika FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
7. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM. selaku Rektor Universitas Lampung.
8. Seluruh Dosen, staf, dan karyawan Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Kedua orang tuaku dan keluarga yang kucintai, Ayah, Ibu, Fadli, Hani, Nindi, terima kasih atas motivasi, semangat, ajaran, doa, serta kasih dan sayang yang senantiasa diberikan.

10. Sahabat tersayang, Puja, Dina, Juju, Tyas, Nisa, Atip, Ching-ching, Adel, Niken, Monik, Nomi, yang telah kebersamai hari-hari suka dan duka, yang memberi semangat dan dukungan dan ketersediannya untuk selalu direpotkan. Friska, Mahira, Jasmine, Alia Putri, teman-teman SMA yang jauh disana, yang senantiasa mendengarkan keluh kesah dan selalu ada dengan tulus dan ikhlas.
11. Teman-teman seperbimbingan Bu Widi yang telah bersedia untuk sama-sama berjuang dan saling menyemangati satu sama lain.
12. Teman-teman Jurusan Matematika Angkatan 2020.
13. Almamater tercinta Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 13 Juni 2024
Penulis,

Afra Nabilla Zury
NPM. 2057031002

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Regresi Linier.....	5
2.2. Uji Normalitas.....	7
2.3 Uji Multikolinieritas.....	8
2.4 Heterogenitas Spasial.....	8
2.5 Koordinat Spasial.....	9
2.6 <i>Geographically Weighted Regression (GWR)</i>	10
2.6.1 Estimasi Parameter Model <i>Geographically Weighted Regression (GWR)</i>	10
2.6.2 Pembobot Model <i>Geographically Weighted Regression (GWR)</i> ..	12
2.7 <i>Bandwidth</i>	13
2.8 Uji Simultan Model GWR	14
2.9 Uji Parsial Model GWR.....	15
2.10 Koefisien Determinasi (R^2)	15
2.11 <i>Akaike Information Criterion (AIC)</i>	16
2.12 Produk Domestik Regional Bruto (PDRB).....	16
2.12.1 Rata-Rata Lama Sekolah.....	17
2.12.2 Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK).....	17

2.12.3 Pendapatan Asli Daerah (PAD)	18
2.12.4 Jumlah Distribusi Bahan Bakar (JDBB)	18
III. METODE PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.2 Data Penelitian	19
3.3 Metode Penelitian	20
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Analisis Deskriptif	22
4.1.1 Produk Domesti Regional Bruto	23
4.1.2 Rata-Rata Lama Sekolah	23
4.1.3 Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja	24
4.1.4 Pendapatan Asli Daerah	25
4.1.5 Jumlah Distribusi Bahan Bakar	26
4.2 Uji Normalitas	27
4.3 Uji Multikolinieritas	28
4.4 Uji Heterogenitas	29
4.5. Jarak Euclidean dan Bandwidth	29
4.6 Pengujian Signifikansi Model GWR	31
4.7 Interpretasi Fungsi Kernel Model GWR	32
4.7.1 Fungsi Pembobot	32
4.7.2 Estimasi Parameter Model GWR	33
4.7.3 Pengujian Simultan Model GWR	34
4.7.4 Pengujian Parsial Model GWR	34
4.8 Interpretasi Pemodelan GWR	35
V. KESIMPULAN	37
DAFTAR PUSTAKA	38

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Variabel Penelitian Data Spasial.....	19
2. Statistika Deskriptif untuk Data PDRB dan Prediktornya.....	22
3. Uji Normalitas.....	27
4. Nilai VIF Variabel Prediktor.....	28
5. Uji Heterogenitas.....	29
6. Fungsi Pembobot Kernel.....	30
7. Uji Signifikansi Model GWR.....	31
8. Ringkasan Estimasi Parameter Model GWR.....	33
9. Kelompok Variabel Independen yang Signifikan.....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram Alur Penelitian	21
2. Persebaran Produk Domestik Regional Bruto Sumatera Utara Tahun 2022	23
3. Persebaran Rata-rata Lama Sekolah Sumatera Utara Tahun 2022	24
4. Persebaran Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja Sumatera Utara Tahun 2022 .	25
5. Persebaran Pendapatan Asli Daerah Sumatera Utara Tahun 2022	26
6. Persebaran Jumlah Distribusi Bahan Bakar Sumatera Utara Tahun 2022.....	27

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Regresi adalah metode statistik untuk memodelkan hubungan antara dua atau lebih variabel menggunakan model matematika linier, seperti garis lurus, untuk mengukur dan memprediksi perubahan satu variabel berdasarkan perubahan variabel lainnya (Montgomery, dkk, 2021). Pendugaan parameter regresi dilakukan dengan menerapkan metode *Ordinary Least Square* (OLS) yang menghasilkan parameter yang bersifat global. Regresi dikatakan baik apabila memenuhi uji asumsi klasik yaitu residual berdistribusi normal, tidak terjadi multikolinieritas, model tidak terjadi heteroskedastisitas dan autokorelasi, sehingga model dapat dikatakan sebagai *Best Linear Unbiased Estimator* (BLUE) (Gujarati, 2003).

Data spasial adalah jenis data yang terkait dengan lokasi atau tempat tertentu di permukaan bumi (Irwansyah, 2013). Data spasial diperoleh dari lokasi-lokasi yang berbeda. Hukum tentang geografi yang dikemukakan oleh Tobler (2004) memiliki artian bahwa segala sesuatu saling berhubungan antar lainnya, tetapi sesuatu yang lebih dekat akan lebih memiliki pengaruh daripada sesuatu yang jauh.

Keterbatasan regresi linier berganda ketika menggunakan OLS dalam pendugaan parameter yaitu tidak mampu mempertimbangkan aspek lokal yang berbeda-beda antar wilayah. Sehingga nilai penduga parameter bersifat konstan untuk semua

wilayah pengamatan (Cao, dkk, 2018). Dengan kata lain OLS mengabaikan variasi spasial atau regional yang mungkin terdapat dalam data.

Heterogenitas spasial merujuk pada kondisi suatu variabel prediktor yang sama dapat menghasilkan respon yang berbeda di lokasi yang berbeda dalam satu wilayah penelitian (Munifah, dkk, 2014). Ketika heterogenitas spasial terjadi, regresi linear mungkin menjadi kurang mampu dalam menjelaskan fenomena data yang sebenarnya. *Geographically Weighted Regression* (GWR) merupakan pengembangan dari regresi linier yang mempertimbangkan faktor letak geografis atau koordinat spasial (Saputra dan Radam, 2023). Model persamaan yang dihasilkan memiliki nilai-nilai parameter yang berlaku secara lokal, yakni hanya berlaku pada tiap lokasi pengamatan dan dapat berbeda dengan lokasi lainnya (Fischer dan Nijkamp, 2021).

Todaro & Smith (2011) berpendapat bahwa pertumbuhan ekonomi didorong oleh 3 komponen utama, antara lain akumulasi modal yaitu semua investasi baru dalam tanah, peralatan fisik, serta pengembangan sumber daya manusia melalui peningkatan di sektor kesehatan, pendidikan, dan kemampuan kerja. Pertumbuhan ekonomi diharapkan dapat membawa dampak positif, seperti bertambahnya lapangan kerja, mengurangnya angka kemiskinan, meningkatnya kesejahteraan rakyat, dan lain-lain.

Indikator yang digunakan untuk mengukur kinerja pertumbuhan ekonomi suatu wilayah yaitu Produk Regional Domestik Bruto (PDRB). PDRB adalah total nilai tambah bruto yang berasal dari seluruh sektor ekonomi di suatu wilayah atau provinsi. Nilai tambah bruto dihitung dengan mengurangi biaya antara dari nilai produksi, termasuk komponen pendapatan (upah, gaji, bunga, sewa tanah, dan keuntungan), penyusutan, dan pajak tidak langsung *netto*. (Sukirno, 2016).

Ikhsanudin & Pasaribu (2023), melakukan penelitian tentang pemodelan GWR dengan fokus pada persentase kemiskinan di Pulau Jawa. Hasil penelitiannya

menunjukkan bahwa GWR dengan kernel *fixed bisquare* memberikan hasil yang sangat baik, terbukti dari nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) model GWR yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai AIC model regresi linear berganda. Penelitian lain yang dilakukan oleh Erdkhadifa (2019), mengenai pengaruh tiga variabel independen yaitu PDRB, pengeluaran pemerintah, dan Pendapatan Asli Daerah (PAD) terhadap pertumbuhan ekonomi di Jawa Timur Tahun 2014-2016. Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan ketiga variabel independen tersebut signifikan secara lokal di beberapa wilayah observasi.

Daulay & Simamora (2023) melakukan penelitian tentang kemiskinan di Sumatera Utara tahun 2018 dengan metode GWR, menghasilkan kesimpulan bahwa kemiskinan di Sumatera Utara mengelompok dengan daerah yang tergolong tinggi terdapat di Kepulauan Nias.

Siagian (2023) meneliti tentang tingkat pengangguran terbuka di Sumatera Utara tahun 2021. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa metode GWR memberikan kinerja yang lebih unggul dalam memprediksi tingkat pengangguran terbuka di Provinsi Sumatera Utara daripada regresi linear berganda, dengan kriteria kebaikan model ditetapkan sebagai nilai AIC dan R^2 yang maksimum, serta *Mean Square Error* (MSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang minimum.

Miranti, *et.al* (2021) melakukan penelitian tentang *Regional Growth, Convergence, and Heterogeneity in Sumatera: Evidence From New Satellite Data*. Penelitiannya menjelaskan bahwa ekonomi yang tumbuh di Sumatera tidak merata, dinyatakan dengan daerah utara tumbuh lebih cepat daripada selatan dengan faktor-faktor yang memengaruhi yaitu akses kredit dan internet berdampak positif di sebagian wilayah kecuali Provinsi Aceh.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian tertarik untuk menerapkan model *Geographically Weighted Regression* pada data pertumbuhan ekonomi di Provinsi

Sumatera Utara tahun 2022 dengan satu variabel dependen yaitu PDRB dan empat variabel independen yaitu Rata-Rata Lama Sekolah (RLS), Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK), Pendapatan Asli Daerah (PAD) dan Jumlah Distribusi Bahan Bakar (JDBB). Selanjutnya, keempat variabel tersebut dievaluasi untuk menentukan variabel mana yang memiliki pengaruh signifikan terhadap PDRB.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain adalah:

1. Menentukan bentuk pemodelan GWR data PDRB di Sumatera Utara tahun 2022.
2. Mencari kernel terbaik pada pemodelan GWR di Sumatera Utara tahun 2022.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain adalah:

1. Mengetahui Kabupaten/Kota di Sumatera Utara yang signifikan memengaruhi PDRB di Sumatera Utara tahun 2022.
2. Menjadi bahan literatur atau referensi bagi pembaca atau peneliti lainnya mengenai cara pembentukan model GWR data spasial dan penentuan dalam pemilihan pembobot kernel.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Regresi Linier

Regresi adalah teknik statistik yang digunakan memodelkan hubungan antara dua atau lebih variabel menggunakan model matematika linier, seperti garis lurus untuk mengukur dan memprediksi perubahan satu variabel berdasarkan perubahan variabel lainnya (Montgomery, dkk, 2021). Dasar dari model ini adalah keyakinan bahwa hubungan antara variabel-variabel tersebut bersifat linier, yang berarti dapat diilustrasikan dengan menggunakan garis lurus (Susanti, dkk, 2019).

Persamaan umum model regresi linier yaitu (Polasek, 1984):

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (2.1)$$

di mana:

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}; \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}; \quad \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}; \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \\ \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix};$$

keterangan:

\mathbf{y} : Vektor respon

\mathbf{x} : Matriks prediktor dengan ukuran $n \times (k + 1)$

$\boldsymbol{\beta}$: Vektor parameter

$\boldsymbol{\varepsilon}$: Vektor *error*

Dalam evolusinya, regresi linier dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu regresi linier sederhana dan regresi linier berganda. Regresi linier sederhana merupakan model regresi yang digunakan untuk mengeksplorasi korelasi antara satu variabel

bebas (independen) dengan variabel terikat (dependen). Regresi berganda digunakan untuk mengevaluasi pengaruh antara variabel-variabel tersebut, mencari hubungan fungsional antara dua atau lebih variabel prediktor dan variabel respon atau untuk meramalkan nilai dari dua atau lebih variabel prediktor terhadap variabel respon (Tranmer & Elliot, 2008).

Persamaan umum model analisis regresi linear berganda yaitu sebagai berikut (Tranmer & Elliot, 2008):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_p X_{pi} + e_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

- y_i : Pengamatan ke- i variabel tak bebas
 β_0 : Parameter *intercept* model regresi (konstanta)
 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$: Parameter koefisien regresi variabel tak bebas
 X_{1i} : Pengamatan ke- i pada variabel bebas
 e_i : Galat atau residu, $\varepsilon_i \sim N(0; \sigma^2)$
 k : Banyaknya variabel bebas

Ordinary Least Squares (OLS) adalah teknik yang digunakan dalam analisis regresi linear untuk meminimalkan galat atau residu. Tujuannya adalah mencari estimasi parameter model regresi yang sesuai dengan data observasi sebaik mungkin dengan meminimalkan jumlah kuadrat galat. Pendugaan parameter model didapat dari persamaan berikut (Draper & Smith, 1992):

$$\begin{aligned} \varepsilon^T \varepsilon &= (Y - X\beta)^T (Y - X\beta) \\ &= (Y^T - \beta^T X^T)(Y - X\beta) \\ &= Y^T Y - Y^T X\beta - \beta^T X^T Y + \beta^T X^T X\beta \\ &= Y^T Y - Y^T X\beta - (\beta^T X^T Y)^T + \beta^T X^T X\beta \\ &= Y^T Y - Y^T X\beta - Y^T X\beta + \beta^T X^T X\beta \\ &= Y^T Y - 2Y^T X\beta + \beta^T X^T X\beta \end{aligned} \quad (2.3)$$

Penduga parameter β pada model regresi diperoleh dengan menurunkan $\varepsilon^T \varepsilon$ terhadap β , kemudian disamakan dengan nol.

$$\frac{\partial \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon}}{\partial \boldsymbol{\beta}} = 0$$

$$\frac{\partial \mathbf{y}^T \mathbf{y} - 2\mathbf{y}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}}{\partial \boldsymbol{\beta}} = 0$$

sehingga,

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y} \quad (2.4)$$

keterangan:

$\widehat{\boldsymbol{\beta}}$: vektor dari parameter yang diestimasi berukuran $(k + 1) \times 1$ ($\widehat{\boldsymbol{\beta}}$ merupakan penaksir tak bias untuk $\boldsymbol{\beta}$)

\mathbf{X} : matriks variabel prediktor berukuran $n \times (k + 1)$

\mathbf{Y} : vektor observasi dari variabel respon $n \times 1$

2.2. Uji Normalitas

Uji normalitas berguna dalam menentukan apakah data yang telah dikumpulkan memiliki distribusi normal yang diambil dari populasi normal. Berdasarkan teorema *central limit*, ketika jumlah data mencapai lebih dari 30 observasi ($n > 30$), dapat diasumsikan bahwa data tersebut memiliki distribusi normal. Jika sampel dianggap besar, artinya data dianggap cenderung normal. Meskipun demikian, bukan berarti data dengan sedikit sampel ($n < 30$) tidak berdistribusi normal (Ghasemi & Zahediasl, 2012).

Adapun hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:

H_0 : Galat berdistribusi normal

H_1 : Galat tidak berdistribusi normal

Kriteria keputusan terima H_0 atau tolak H_1 jika nilai $p - value > \alpha$ yang berarti galat berdistribusi normal dan sebaliknya.

2.3 Uji Multikolinieritas

Multikolinieritas terjadi ketika dua atau lebih variabel prediktor dalam regresi linear berganda memiliki hubungan yang kuat. Suatu model dianggap baik apabila variabel independennya tidak memiliki korelasi yang signifikan atau tidak relevan (Jensen & Ramirez, 2013).

Uji multikolinieritas berfungsi sebagai alat untuk mengidentifikasi korelasi antara variabel independen yang diamati, dengan menggunakan *Variance Inflation Factor* (VIF) sebagai indikator, yang dihasilkan dari proses pengujian sebagai berikut (Belsley, 1991):

$$VIF = \frac{1}{Tolerance} = \frac{1}{1 - R_i^2} \quad (2.5)$$

dengan:

R_i^2 merupakan koefisien determinasi variabel ke-i

Adapun hipotesis yang digunakan dalam uji multikolinieritas sebagai berikut:

H_0 : $VIF < 10$, tidak terjadi Multikolinieritas

H_1 : $VIF > 10$, terjadi Multikolinieritas

Kriteria keputusan terima H_0 jika nilai $VIF < 10$, yang artinya tidak terjadi multikolinieritas.

2.4 Heterogenitas Spasial

Pratiwi, dkk. (2018) menyatakan bahwa heterogenitas spasial terjadi ketika satu variabel bebas memberikan respon yang berbeda-beda karena lokasi yang berbeda dalam suatu wilayah penelitian. Ketika data bersifat heterogenitas spasial dapat mengakibatkan perbedaan parameter regresi di setiap lokasi pengamatan. Dengan menggunakan uji *Breusch-Pagan*, diperoleh apakah data terdapat heterogenitas spasial atau tidak.

Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut (Breusch & Pagan, 1980):

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2$, tidak terdapat heterogenitas spasial

H_1 : minimal ada satu $\sigma_1^2 \neq \sigma^2$, terdapat heterogenitas spasial

Tolak H_0 apabila $BP > \chi_{(p)}^2$ atau jika p-value $< \alpha$.

Statistik uji:

$$BP = \frac{1}{2} \mathbf{f}^T \mathbf{Z} (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^T \mathbf{f} \quad (2.6)$$

dengan:

$$\mathbf{f} = (f_1, f_2, \dots, f_n)^T \quad : f = \left(\frac{e_i^2}{\sigma^2} - 1 \right)$$

$$e_i = y_i - \hat{y}_i$$

keterangan:

e_i : Galat *least square* pengamatan ke- i

\mathbf{Z} : Matriks berukuran $n \times (k + 1)$ yang berisi vektor yang sudah dinormal-standarkan untuk setiap lokasi

2.5 Koordinat Spasial

Dalam pengembangan model GWR, variabel koordinat spasial seperti *longitude* dan *latitude* digunakan sebagai faktor pembobotan. *Longitude* dan *latitude* suatu pengamatan membentuk struktur kedekatan, yang dikenal sebagai tetangga pengamatan, mengacu pada jarak relatif antara observasi. *Longitude* adalah garis yang menghubungkan Kutub Utara dan Kutub Selatan, digunakan untuk menentukan koordinat timur-barat di Bumi. *Latitude*, di sisi lain, adalah garis lintang antara Kutub Utara dan Selatan, mengukur koordinat utara-selatan di Bumi (Isbiyantoro, dkk., 2014).

2.6 Geographically Weighted Regression (GWR)

Geographically Weighted Regression (GWR) adalah evolusi dari model regresi linear OLS yang memasukkan pertimbangan terhadap efek spasial. Menurut Fotheringham, *et al.* (2003), GWR merupakan pendekatan statistika yang digunakan untuk mengeksplorasi keragaman spasial. Model GWR menghasilkan estimasi parameter model yang bersifat lokal untuk setiap titik atau lokasi di mana data diamati. Dalam model GWR, variabel dependen diperkirakan menggunakan variabel independen. Koefisien regresinya bervariasi tergantung pada lokasi tempat data diamati. Model GWR dapat ditulis pada persamaan 2.9 (Fotheringham, *et.al*, 2003).

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i)x_{ik} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.9)$$

y_i : nilai observasi variabel respon ke- i

β_0 : konstanta atau intersep pada pengamatan ke- i

u_i, v_i : titik koordinat lokasi ke- i

x_{ik} : nilai observasi variabel ke- k pada lokasi ke- i

ε_i : galat pengamatan ke- i yang diasumsikan identik, independen dan berdistribusi normal dengan *mean* nol dan variasi konstan ($\varepsilon_i \sim iidN(0, \sigma^2)$)

2.6.1 Estimasi Parameter Model *Geographically Weighted Regression (GWR)*

Estimasi atau penaksiran parameter model GWR menggunakan metode *Weighted Least Squares (WLS)* di mana bobot yang diberikan pada setiap lokasi data dipilih berdasarkan Hukum Tobler I (Tobler, 2004), yang menyatakan bahwa segala sesuatu saling berhubungan, namun dampaknya lebih besar untuk objek yang lebih dekat, sehingga diasumsikan bahwa efek atau pengaruh suatu lokasi observasi ke- i lebih besar dari daerah yang berdekatan daripada daerah yang lebih

jauh (Anselin, 1988). Pembobot untuk setiap lokasi (u_i, v_i) adalah $w_j(u_i, v_i)$ dengan $j = 1, 2, \dots, n$, kemudian meminimumkan jumlah kuadrat residual:

$$\sum_{j=1}^n w_j(u_i, v_i) \varepsilon_j^2 = \sum_{j=1}^n w_j(u_i, v_i) \left[y_j - \beta_0(u_i, v_i) - \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i) x_{jk} \right]^2 \quad (2.10)$$

atau:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\varepsilon}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \boldsymbol{\varepsilon} &= \mathbf{Y}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y} - 2\boldsymbol{\beta}^T(u_i, v_i) \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{Y} \\ &\quad + \boldsymbol{\beta}^T(u_i, v_i) \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}(u_i, v_i) \end{aligned} \quad (2.11)$$

dengan:

$$\boldsymbol{\beta}(u_i, v_i) = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\beta}_0(u_i, v_i) \\ \boldsymbol{\beta}_1(u_i, v_i) \\ \vdots \\ \boldsymbol{\beta}_k(u_i, v_i) \end{bmatrix}$$

Ketika persamaan (2.11) didiferensialkan terhadap $\boldsymbol{\beta}^T(u_i, v_i)$ dan hasilnya disamakan dengan nol, maka akan diperoleh estimator parameter model GWR sebagai berikut:

$$\frac{\partial \boldsymbol{\varepsilon}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \boldsymbol{\varepsilon}}{\partial \boldsymbol{\beta}^T(u_i, v_i)} = 0$$

$$0 - 2\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{Y} + 2\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}(u_i, v_i) = 0$$

$$2\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}(u_i, v_i) = 2\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{Y}$$

$$\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}(u_i, v_i) = \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{Y} \quad (2.12)$$

Kemudian persamaan (2.12) dikalikan dengan invers agar memperoleh $\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i)$

$$[\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}(u_i, v_i) = [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{Y}$$

Sehingga diperoleh estimasi parameter model GWR sebagai berikut:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i) = [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{Y} \quad (2.13)$$

dengan:

\mathbf{X} : matriks peubah prediktor berordo $n(k + 1)$

\mathbf{Y} : vektor respon berordo $n \times 1$

u_i, v_i : titik lokasi pengamatan ke- i (lintang dan bujur)

$W(u_i, v_i)$ merupakan matriks pembobot spasial untuk model GWR yang berordo $n \times n$:

$$W_i(u_i, v_i) = \begin{bmatrix} W_{i1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & W_{i2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & W_{in} \end{bmatrix}$$

Matriks pembobot tersebut mengandung diskontinuitas, maka untuk menyelesaikannya diperlukan fungsi pembobot kernel yang digunakan untuk mendefinisikan W_{ij} kontinu dari d_{ij} (Fotheringham, dkk, 2003).

2.6.2 Pembobot Model *Geographically Weighted Regression* (GWR)

Pembobot spasial merujuk pada bobot yang menggambarkan posisi relatif antar data satu dengan yang lainnya. pembobotan adalah elemen kunci karena mencerminkan lokasi spasial observasi data. Seperti pada Hukum I Tobler, diasumsikan bahwa pengamatan skema pembobotan dalam GWR dapat diterapkan menggunakan berbagai metode, salah satunya adalah melalui penggunaan fungsi kernel. Adapun pembobot yang terbentuk berdasarkan fungsi kernel sebagai berikut (Lesage & Pace, 2001):

1. *Fixed Gaussian*

$$w_{ij}(u_i, v_i) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right) \quad (2.14)$$

2. *Fixed Bisquare*

$$w_{ij}(u_i, v_j) = \begin{cases} \left(1 - (d_{ij}/b)^2\right)^2, & \text{untuk } d_{ij} \leq b \\ 0, & \text{untuk } d_{ij} > b \end{cases} \quad (2.15)$$

3. *Adaptive Gaussian*

$$w_{ij}(u_i, v_i) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{b_i}\right)^2\right) \quad (2.16)$$

4. Adaptive Bisquare

$$w_{ij}(u_i, v_j) = \begin{cases} \left(1 - (d_{ij}/b_i)^2\right)^2, & \text{untuk } d_{ij} \leq b \\ 0 & \text{, untuk } d_{ij} > b \end{cases} \quad (2.17)$$

di mana,

$$d_{ij} = \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2}$$

dengan

d_{ij} : jarak *euclidean* antar lokasi (u_i, v_i) ke lokasi (u_j, v_j)

b : parameter penghalus (*bandwidth*)

2.7 Bandwidth

Bandwidth bisa dianggap sebagai jangkauan dari suatu lingkaran, di mana observasi yang berada di dalam lingkaran tersebut masih dianggap memengaruhi pembentukan parameter pada satu titik lokasi pengamatan (Baltagi, 2005). Oleh karena itu, menentukan *bandwidth* yang optimal sangatlah krusial karena akan berdampak pada akurasi model terhadap data, dengan mengatur varians dan bias dari model.

Beberapa teknik tersedia untuk menentukan bandwidth optimal, di antaranya adalah *Cross Validation* (CV), yang dijabarkan sebagai berikut oleh Fotheringham, et al. (2003):

$$CV(b) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{\neq i}(b))^2 \quad (2.18)$$

dengan:

y_i : nilai observasi variabel respon ke- i

$\hat{y}_{\neq i}(b)$: nilai peramalan y_i di lokasi (u_i, v_i) dihilangkan dari proses penaksiran.

n : jumlah sampel

Bandwidth optimum akan ditunjukkan berdasarkan nilai CV yang minimum.

2.8 Uji Simultan Model GWR

Uji simultan model GWR ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah ada perbedaan signifikan antara model regresi global dan model GWR dengan menggabungkan uji regresi global. Uji BFC02 digunakan dengan bantuan Rstudio yang dikemukakan oleh Fotheringham, *et.al*, (2003) Berikut merupakan hipotesis uji simultan untuk model GWR (Leung, *et.al*, 2000):

$H_0: \beta_k(u_i, v_i) = \beta_k; k = 1, 2, \dots, p$ dan $i = 1, 2, \dots, n$ (Tidak ada perbedaan signifikan antara model OLS dan model GWR)

$H_1: \exists \beta_{k(u_i, v_i)} \neq \beta_k$ (Ada perbedaan signifikan antara model OLS dan model GWR)

Dengan keputusan tolak H_0 jika $F_{hit} > F_{(\alpha; df_1, df_2)}$ yang artinya model GWR lebih berpengaruh signifikan daripada model GWR.

Perhitungan dalam uji kesesuaian model GWR (Fotheringham, *et.al*, 2003)

$$F_{hitung} = \frac{(RSS_{ols} - RSS_{GWR})/v}{RSS_{ols}/\delta_1} \quad (2.19)$$

dengan:

RSS_{ols} : jumlah kuadrat galat dari residual model OLS

RSS_{GWR} : jumlah kuadrat galat dari residual model GWR

v : derajat bebas model OLS

δ_1 : derajat bebas model GWR

2.9 Uji Parsial Model GWR

Tujuan dari uji parsial dalam model GWR adalah untuk mengenali parameter-parameter yang memiliki pengaruh yang signifikan secara individual terhadap variabel independen. Berikut merupakan hipotesis uji parsial model GWR:

$H_0: \beta_k(u_i, v_i) = 0, k = 1, 2, \dots, p$ dan $i = 1, 2, \dots, n$ (variabel independen tidak berpengaruh terhadap variabel dependen pada model)

$H_1: \beta_k \neq 0$ (variabel independen berpengaruh terhadap variabel dependen pada model)

Dengan keputusan tolak H_0 jika $|t_{hitung}| > t_{(\frac{\alpha}{2}, df)}$ yang artinya ada pengaruh antara variabel dependen terhadap variabel independen.

Persamaan 2.20 adalah statistik uji yang digunakan untuk melakukan uji parsial dalam model GWR, seperti yang dijelaskan oleh Fotheringham, *et.al*, (2003)

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\beta}_{k(u_i, v_i)}}{SE(\hat{\beta}_{k(u_i, v_i)})} \quad (2.20)$$

dengan:

$SE(\hat{\beta}_{k(u_i, v_i)})$:galat baku koefisien $\hat{\beta}_{k(u_i, v_i)}$

2.10 Koefisien Determinasi (R^2)

Ghozali (2012) menjelaskan bahwa koefisien determinasi (R^2) berperan sebagai penanda untuk mengukur sejauh mana model mampu menjelaskan variasi dalam variabel dependen. Uji koefisien determinasi juga dapat dipakai untuk mengevaluasi kecocokan garis regresi yang digunakan. Rentang nilai R^2 berada antara 0 dan 1 di mana nilai yang mendekati 1 menunjukkan kemampuan model yang tinggi. Dalam memberikan penjelasan tentang variasi, nilai yang tinggi menunjukkan bahwa variabel independen dapat menjelaskan variasi variabel dependen dengan baik, sedangkan nilai yang rendah menunjukkan bahwa

kemampuan variabel independen dalam menjelaskan variasi variabel dependen terbatas. Berikut adalah rumus koefisien determinasi:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n \sum (y_i - \bar{y})^2} \times 100\% \quad (2.21)$$

dengan:

y_i : nilai observasi variabel respon ke- i

\hat{y}_i : hasil peramalan pada observasi ke- i

\bar{y} : nilai rata-rata variabel dependen

n : jumlah observasi

2.11 Akaike Information Criterion (AIC)

Metode *Akaike Information Criterion* (AIC) adalah metode yang dapat digunakan untuk memilih model terbaik. Metode ini didasarkan pada metode *maximum likelihood estimation* (MLE) (Grasa, 1989). Berikut rumus perhitungan AIC:

$$AIC = 2n \ln(\hat{\sigma}) + n \ln(2\pi) + n + tr(\mathbf{L}) \quad (2.22)$$

Dengan:

$\hat{\sigma}$: nilai estimator standar deviasi dari residual ($\hat{\sigma} = \frac{RSS}{n}$)

$tr(\mathbf{L})$: *trace* dari matriks \mathbf{L}

2.12 Produk Domestik Regional Bruto (PDRB)

PDRB atas dasar harga pasar adalah ukuran total nilai tambah bruto yang dihasilkan dari semua sektor ekonomi dalam suatu wilayah. Nilai tambah ini merupakan hasil dari proses produksi yang melibatkan berbagai faktor produksi dan bahan baku. Dalam perhitungannya, nilai tambah dihitung sebagai selisih antara nilai produksi (*output*) dan biaya antara. Konsep nilai tambah bruto mencakup berbagai komponen pendapatan faktor, seperti upah, gaji, bunga, sewa

tanah, keuntungan, penyusutan, dan pajak tidak langsung *netto*. Dengan menggabungkan nilai tambah bruto dari setiap sektor, diperoleh PDRB atas dasar harga pasar untuk suatu wilayah (Sukirno, 2016).

Perekonomian suatu wilayah mengacu pada peningkatan pendapatan masyarakat secara keseluruhan, yang tercermin dalam kenaikan total nilai tambah di wilayah tersebut. Pertumbuhan ekonomi wilayah ini ditunjukkan oleh peningkatan laju PDRB atas dasar harga konstan, seperti yang dijelaskan oleh Todaro & Smith (2011). Dengan pertumbuhan ekonomi yang meningkat, terjadi peningkatan produksi di sektor jasa dan barang, yang pada gilirannya menyerap tenaga kerja dalam jumlah yang signifikan. Hal ini mengakibatkan penurunan angka pengangguran dan kemiskinan.

2.12.1 Rata-Rata Lama Sekolah

Rata-rata lama sekolah (RLS) adalah ukuran statistik yang mencerminkan jumlah rata-rata tahun pendidikan formal yang ditempuh oleh penduduk. Perhitungan RLS dilakukan pada penduduk yang berusia 25 tahun ke atas, dengan asumsi bahwa pada usia tersebut, mayoritas individu telah menyelesaikan proses pendidikan formal mereka. Penghitungan RLS pada kelompok usia 25 tahun ke atas ini mengikuti standar internasional yang diadopsi oleh UNDP (*United Nations Development Programs*) (BPS, 2018).

2.12.2 Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK)

Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK) pada suatu kelompok penduduk tertentu mengindikasikan perbandingan antara jumlah angkatan kerja dan jumlah penduduk dalam kelompok usia kerja yang sama. TPAK dapat diterapkan pada

keseluruhan populasi berdasarkan usia kerja atau pada kelompok tertentu yang dibedakan berdasarkan jenis kelamin, tingkat upah, dan tingkat pendidikan (Simanjutak, 2002).

2.12.3 Pendapatan Asli Daerah (PAD)

Pendapatan Asli Daerah (PAD) Menurut Halim (2004), berdasarkan Undang-Undang Nomor 33 Tahun 2004 Bab V Pasal 6, sumber pendapatan asli daerah terdiri dari pajak daerah, retribusi daerah, hasil pengelolaan kekayaan daerah yang dipisahkan, dan lain-lain PAD yang sah. Dalam konteks teori pendapatan, pendapatan merujuk pada jumlah total uang yang diterima oleh individu atau rumah tangga selama periode tertentu, biasanya dalam satu tahun. Sumber-sumber pendapatan ini meliputi upah atau penghasilan dari pekerjaan, pendapatan dari kekayaan seperti sewa, bunga, dan dividen, serta pembayaran transfer atau penerimaan dari pemerintah seperti tunjangan sosial atau asuransi pengangguran (Samuelson & Nordhaus, 2001).

2.12.4 Jumlah Distribusi Bahan Bakar (JDBB)

Jumlah penyaluran bahan bakar LPG adalah jumlah bahan bakar LPG yang disalurkan oleh penyalur ke pengguna akhir dengan ketentuan bahwa penyalur hanya dapat menyalurkan bahan bakar LPG kepada pengguna akhir dan dilarang menyalurkan bahan bakar LPG kepada pengecer yang bertujuan untuk mendapatkan keuntungan (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2022).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada semester ganjil tahun akademik 2023/2024 bertempat di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sumatera Utara terkait data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) pada kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Utara tahun 2022 dengan unit observasi sebanyak 33 kabupaten/kota.

Tabel 1. Variabel Penelitian Data Spasial

Variabel		Indikator
Dependen	Y	Produk Domestik Regional Bruto
Independen	X ₁	Rata-Rata Lama Sekolah
	X ₂	Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja
	X ₃	Pendapatan Asli Daerah
	X ₄	Jumlah Distribusi Bahan Bakar
Spasial	(u_i, v_i)	Titik Koordinat (garis lintang dan bujur)

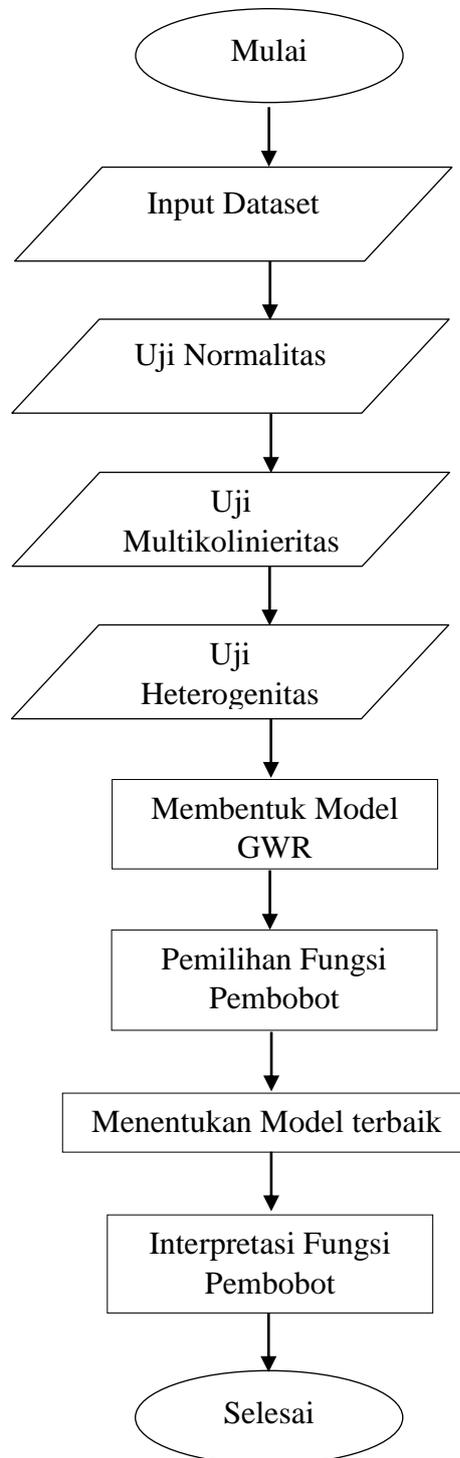
3.3 Metode Penelitian

Studi ini menggunakan pendekatan literatur yang sistematis, mengacu pada sumber-sumber seperti buku dan media, untuk mengumpulkan sebanyak mungkin informasi yang mendukung penulisan penelitian ini. Data dianalisis dengan bantuan software Rstudio, Microsoft Excel dan QGIS.

Adapun tahapan analisis yang akan dilakukan untuk menganalisis studi kasus ini untuk mendapatkan estimasi parameter adalah sebagai berikut:

1. *Input dataset* ke dalam *software Rstudio*.
2. Melakukan uji normalitas dan uji multikolinieritas.
3. Melakukan uji heterogenitas spasial dengan menggunakan uji Breusch-Pagan (*BP test*)
4. Membentuk model GWR dengan memilih kernel terbaik dengan mengestimasi parameternya menggunakan keempat pembobot kernel.
5. Melakukan uji signifikansi dengan melihat *Pvalue* pembobot kernel yang terpilih.
6. Interpretasi fungsi kernel yang terpilih.

Alur penelitian dalam studi kasus ini ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pemodelan *Geographically Weighted Regression* (GWR) terhadap produk domestik regional bruto di Provinsi Sumatera Utara tahun 2022 dan pembahasan pada bab IV, maka berikut merupakan kesimpulan yang dapat diambil:

1. Pemodelan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) di Provinsi Sumatera Utara tahun 2022 menggunakan metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) dengan fungsi pembobot kernel *Fixed Bisquare* adalah:

$$\hat{Y}_{Nias} = -0,07927 - 0,02947X_1 - 0,01539X_2 + 0,06034X_3 + 0,71686X_4$$

$$\hat{Y}_{Mandailing\ Natal} = -0,10688 - 0,01233X_1 + 0,00424X_2 - 0,42861X_3 \\ + 0,78492X_4$$

$$\hat{Y}_{Tapanuli\ Selatan} = -0,01818 - 0,09716X_1 - 0,07993X_2 + 0,04890X_3 \\ + 0,67264X_4$$

Contoh lainnya dapat dilihat pada lampiran 6.

2. Hasil dari uji t pada Tabel 9 menyimpulkan bahwa variabel independen yang signifikan dibagi menjadi 8 kelompok.

DAFTAR PUSTAKA

- Anselin, L. 1988. *Spatial econometrics: methods and models* Vol. 4 . Springer, Jerman.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Boyolali. 2018. Indeks Pembangunan Manusia Kabupaten Boyolali 2018. <https://boyolalikab.bps.go.id/> Diakses pada 5 Desember 2023.
- Baltagi, B.H. 2005. *Econometric Analysis of Panel Data*. 3th Edition. John Wiley & Sons Ltd, England.
- Belsley, D.A. 1991. *Conditioning Diagnostics: Collinearity and Weak Data in Regression*. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). Lagrange multiplier test and to model applications specification in econometrics. *The Review of Economic Studies*. **47**(1): 239–253
- Cao, K., Diao, M., & Wu, B. 2019. A big data–based geographically weighted regression model for public housing prices: A case study in Singapore. *Annals of the American Association of Geographers*. **109**(1): 173-186.
- Daulay, S. H., & Simamora, E. 2023. Pemodelan Faktor-Faktor Penyebab Kemiskinan Di Provinsi Sumatera Utara Menggunakan Metode Geographically Weighted Regression (GWR). *Jurnal Riset Rumpun Matematika dan Ilmu Pengetahuan*. **2**(1): 47-60.
- Draper, N. R., & Smith, H. 1992. *Analisis Regresi Terapan*. Edisi Ke-2. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

- Erdkhadifa, R. 2019. The geographically weighted regression approach in analyzing the factors forming economic growth. *Indonesian Journal of Islamic Economics Research*. 1(2): 101-109.
- Fischer, M. M., & Nijkamp, P. 2021. *Handbook of Regional Science*. 2nd Edition. Springer, Jerman.
- Fotheringham, A. S., Brunson, C., & Charlton. M. 2003. *Geographically Weighted Regression: the analysis of spatially varying relationships*. John Wiley & Sons, England.
- Ghasemi, A., & Zahediasl, S. 2012. Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians. *International journal of endocrinology and metabolism*. **10**(2): 486.
- Ghozali, I. 2012, *Aplikasi Analisis Multivariabel dengan Program SPSS 20*. Edisi 6. Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- Gong, S., Dong, X., Wang, K., Lei, B., Jia, Z., Qin, J., & Cao, R. 2023. Agent-based modelling with geographically weighted calibration for intra-urban activities simulation using taxi GPS trajectories. *International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation*. **122**: 103-368
- Grasa, A. A. 1989. *Econometric Model Selection: A New Approach*. Springer Dordrecht, Jerman.
- Gujarati, D.N. 2003. *Basic Econometrics*. Mc Graw-Hill, Newyork.
- Halim, A. 2004. Akuntansi Keuangan Daerah. Edisi Revisi. Salemba Empat, Jakarta.
- Ikhsanudin, M. R., & Pasaribu, E. 2023. Modeling the Percentage of Poor Population in Java Island using Geographically Weighted Regression Approach. *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*. **20**(1): 229-244.
- Irwansyah, E. 2013. *Sistem Informasi Geografis: Prinsip Dasar dan Pengembangan Aplikasi*. Digibooks, Yogyakarta.

- Isbiyantoro, K., Wilandari, Y., & Sugito, S. 2014. Perbandingan Model Pertumbuhan Ekonomi di Jawa Tengah Dengan Metode Regresi Linier Berganda dan Metode Geographically Weighted Regression. *Jurnal Gaussian*. **3**(3): 461-469.
- Jensen, D. R., Ramirez, D. A. 2013. Variance inflation in regression. *Advances in Decision Sciences*. **2013**: 1-15.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2022. Surat Edaran Pelaksanaan Penyaluran BBM, BBG dan LPG Tahun 2022. <https://migas.esdm.go.id/>. Diakses pada 5 Mei 2024.
- Lesage, J., & Pace, R. K. 2001. *Introduction to Spatial Econometrics*. CRC Press, New York.
- Leung, Y., Mei, C. L., & Zhang, W. X. 2000. Statistical tests for spatial nonstationarity based on the geographically weighted regression model. *Environment and Planning A*, **32**(1): 9-32.
- Miranti, R. C., Yan, S. S., & Aginta, H. 2021. Regional Growth, Convergence, and Heterogeneity in Sumatera: Evidence From New Satellite Data. *The 2nd Sumatranomics. Kantor Perwakilan Bank Indonesia Perwakilan Sumatera Utara*. **2021**: 1-34.
- Montgomery, D.C., Peck, E.A., & Vining, G.G. 2021. *Introduction to Linear Regression Analysis*. John Wiley and Sons, New Jersey.
- 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). *Jurnal NaturalB*. **2**(3): 296-302.
- Polasek, W. 1984. Regression diagnostics for general linear regression models. *Journal of the American Statistical Association*. **79**(386): 336-340.
- Pratiwi, L. P. S., Hanief, S., & Suniantara, I. K. P. 2018. Pemodelan Angka Putus Sekolah Usia Pendidikan Dasar Dengan Metode Spasial Geographically Weighted Regression. *Proceeding Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi Informasi*. **1**(1): 621-625.

- Samuelson, P. A., Nordhaus, D. W. 2001. *Microeconomics, 17th Edition*, McGraw-Hill, Newyork.
- Saputra, H. Y., & Radam, I. F. 2023. Accessibility model of BRT stop locations using Geographically Weighted regression (GWR): A case study in Banjarmasin, Indonesia. *International Journal of Transportation Science and Technology*. **12**(3): 779-792.
- Siagian, D. L. E. 2023. Pemodelan Tingkat Pengangguran Terbuka Di Kabupaten/Kota Provinsi Sumatera Utara Menggunakan Metode Geographically Weighted Regression. *IJM: Indonesian Journal of Multidisciplinary*. **1**(4): 1518-1530.
- Simanjuntak, Payaman, J. 2002. *Pengantar Ekonomi Sumber Daya Manusia, Fakultas Ekonomi UI, Jakarta*.
- Sukirno, S. 2016 *Makro Ekonomi Teori Pengantar*. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Susanti, D. S., Sukmawaty, Y., & Salam, N. 2019. *Analisis Regresi dan Korelasi*. IRDH, Malang.
- Tobler, W. 2004. On the first law of geography: A reply. *Annals of the Association of American Geographers*. **94**(2): 304-310.
- Todaro, M. P., & Smith, S. C. 2011. *Pembangunan Ekonomi, Edisi ke-9*. Erlangga, Jakarta.
- Tranmer, M., & Elliot, M. 2008. Multiple linear regression. *The Cathie Marsh Centre for Census and Survey Research (CCSR)*. **5**(5): 1-5.