

Estimasi distribusi PDRB kawasan Kedungsepur secara spasial menggunakan Geographically Weighted Regression untuk mendukung pengembangan wilayah

Adik Amin Nashrudien^{1*}, Retno Widodo Dwi Pramono¹

¹Magister Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

*Email koresponden: adikamin99@mail.ugm.ac.id

Submitted: 2024-03-31 Revisions: 2024-09-25 Accepted: 2024-09-11 Published: 2025-03-17

©2025 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

©2025 by the authors and Majalah Geografi Indonesia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

ABSTRAK Salah satu tujuan utama perencanaan pembangunan adalah menghasilkan kebijakan dan program untuk mendorong pertumbuhan ekonomi agar kualitas hidup masyarakat yang tinggal dan bekerja meningkat. Perencanaan yang cermat diperlukan kerincian data aktivitas ekonomi yang cukup rinci paling tidak hingga pada tingkat komunitas yang dapat menggambarkan heterogenitas dari wilayah untuk analisis yang lebih detail dan lebih mendalam mengenai dinamika produksi dan transaksi yang merupakan jantung dari analisis ekonomi. Data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) yang ada saat ini hanya pada skala makro yang mengasumsikan nilainya merata di seluruh wilayah administrasi dan tidak menggambarkan heterogenitas hingga pada tingkat komunitas dan sebaran sentra-sentra kegiatan ekonomi. Penurunan skala (*downscaling*) PDRB secara spasial perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan menguji teknik *downscaling* untuk menghasilkan nilai estimasi dengan skala yang lebih kecil dari pada nilai aktual dengan menggunakan metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) dari data *nighttime light* dan tutupan lahan yang ditambahkan data indeks vegetasi. Indeks vegetasi ditambahkan untuk meningkatkan akurasi dari hasil estimasi PDRB. Karena data tutupan lahan saja tidak cukup sensitif terhadap sebaran produktivitas lahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa GWR *downscaling* dengan menambahkan indeks vegetasi mempunyai nilai R^2 yang mendekati nilai 1 yaitu sebesar 0.9980, 0.9992, dan 0.9991 untuk masing-masing estimasi PDRB sektor primer, sektor sekunder dan tersier, dan total PDRB. Nilai R^2 yang mendekati nilai 1 menunjukkan bahwa metode yang dilakukan efektif untuk mengestimasi nilai PDRB *downscaling*. Distribusi nilai PDRB *downscaling* dapat digunakan oleh pemerintah dalam memahami wilayah dengan ekonomi relatif lebih tinggi dan lebih rendah. Pemahaman tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk membuat kebijakan dalam mengintervensi bagian-bagian wilayah untuk mendukung pengembangan wilayah.

Kata kunci: PDRB; PDRB grid; geographically weighted regression (GWR); GWR *downscaling*; *nighttime light*

Abstract One of the main goals of development planning is to produce policies and programs to stimulate economic growth so that the quality of life of the people living and working improves. Careful planning requires detailed economic activity data that are sufficiently detailed at least to the community level that can depict the heterogeneity of the region for a more detailed and in-depth analysis of the dynamics of production and transactions that are at the heart of economic analysis. The current Gross Domestic Product (GDP) data only on a macro scale assumes equal values across the administrative territory and does not describe heterogeneity up to the community level and the spread of economic activity centers. A spatial *downscaling* of GDP needs to be done. The study aims to test *downscaling* techniques to generate estimates of a scale smaller than the actual value using the *Geographically Weighted Regression* (GWR) method of *nighttime light* and land cover data added to the vegetation index data. Vegetation index is added to improve the accuracy of the GDP estimates because land coverage data alone is not sensitive enough to the land productivity spread. The results of the study showed that GWR *downscaling* by adding the vegetable index has R^2 values that are close to the value of 1, i.e. 0.9980, 0.9992, and 0.9991 for each estimate of GDP of the primary, secondary and tertiary sectors, and total GDP. A value of R^2 that is close to value 1 indicates that the method used is effective to estimate the GDP value of *downscaling*. The distribution of GDP *downscaling* values can be used by the government to understand regions with relatively higher and lower economies. This understanding can be used as a basis for formulating policies to intervene in certain areas to support regional development.

Keywords: GDP; gridded GDP; geographically weighted regression (GWR); GWR *downscaling*, *nighttime light*

PENDAHULUAN

Salah satu tujuan utama perencanaan pembangunan perkotaan (Nahavandi, 2013), perencanaan pembangunan wilayah (Pramono & Suminar, 2019) adalah menghasilkan kebijakan dan program untuk mendorong pertumbuhan ekonomi. Perencana kota dan perencana ekonomi selalu berjuang menentukan kebijakan pembangunan

ekonomi untuk meningkatkan pertumbuhan dengan cara meningkatkan kualitas hidup masyarakat yang tinggal dan bekerja. Pemahaman mengenai dinamika dan variasi produktivitas mulai dari tingkat rumah tangga, unit usaha, hingga agregat kota, wilayah dan nasional sangat penting untuk tujuan di atas. Pemahaman mengenai persebaran potensi dan dinamika kegiatan ekonomi pada ruang sangat

penting dalam perencanaan wilayah dan kota (Henderson *et al.*, 2018). Indikator yang paling umum dipakai dalam analisis dinamika, siklus dan sebaran kegiatan ekonomi adalah Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) (Arifah & Sari, 2023; McCord & Rodriguez-Heredia, 2022; Xu *et al.*, 2023). Membaginya dengan data jumlah penduduk serta membandingkannya antar bagian wilayah PDRB juga sering digunakan untuk mengukur tingkat kesejahteraan, tingkat kemiskinan, dan ketimpangan (BPS, 2017; Shi, 2020; Sun *et al.*, 2020).

Data yang digunakan untuk menghitung nilai PDRB dikumpulkan melalui metode sensus penduduk dan dari departemen atau instansi terkait yang mengeluarkan data tertentu (BPS, 2023; Gu *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2021). Namun metode sensus penduduk membutuhkan banyak waktu dan biaya dalam proses pengumpulan dan pengolahan datanya (Gu *et al.*, 2019). Data PDRB hasil dari metode tersebut yang diterbitkan secara resmi oleh pemerintah mengasumsikan distribusi PDRB secara merata di suatu batas administrasi wilayah tertentu. Sehingga, PDRB tidak mencerminkan kegiatan ekonomi secara aktual karena mengabaikan heterogenitas spasial dalam unit spasial (Cao *et al.*, 2016). Selain itu, data PDRB di Indonesia hanya tersedia pada tingkatan nasional, provinsi, dan kabupaten/kota.

Perencanaan pembangunan yang cermat diperlukan kerincian data aktivitas ekonomi yang cukup rinci paling tidak hingga pada tingkat komunitas (Yang, 2017), untuk di Indonesia misalnya pada satuan ruang yang lebih kecil seperti kecamatan atau kelurahan (Achsin *et al.*, 2015). Namun sampai hari ini data ekonomi pada tingkat ini belum tersedia. Oleh karena itu dibutuhkan metode untuk menghasilkan informasi ekonomi seperti nilai PDRB dalam skala yang lebih kecil yang menggambarkan heterogenitas dari wilayah untuk analisis yang lebih detail dan lebih mendalam mengenai dinamika produksi dan transaksi yang merupakan jantung dari analisis ekonomi (Cameron & Hoover, 1972; Stimson *et al.*, 2006). Analisis ekonomi pada skala lebih kecil dapat digunakan untuk pemantauan dinamika ekonomi lokal seperti pertumbuhan ekonomi dan dapat digunakan untuk perbandingan wilayah seperti ketimpangan antar wilayah. Hal ini dapat digunakan oleh perencana tata ruang atau pemerintah untuk lebih bisa mengarahkan intervensinya terhadap perencanaan pembangunan wilayah sehingga dapat mengurangi ketimpangan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat dengan lebih tepat sasaran.

PDRB dengan skala yang lebih kecil dapat dihasilkan dengan cara penurunan skala atau *downscaling* (Murakami & Yamagata, 2019). Metode *downscaling* memerlukan data lain yang bersifat spasial dan memiliki skala yang lebih kecil. Data tersebut dapat dihasilkan menggunakan penginderaan jauh yang memanfaatkan satelit dalam menghasilkan citra karakteristik wilayah (USGS, n.d.). Pengumpulan dan pengolahan data yang dihasilkan dari penginderaan jauh memerlukan biaya yang relatif lebih murah dibandingkan metode sensus penduduk (Chen *et al.*, 2018). Selain itu, kelebihan menggunakan penginderaan jauh antara lain mudah diakses, resolusi data yang tinggi, dan cakupan data yang luas secara geografis (Donaldson & Storeygard, 2016). Salah satu teknik dalam metode *downscaling* yaitu *Geographically Weighted Regression* (GWR). Mekanisme dasar dari GWR yaitu menentukan nilai estimasi suatu titik berdasarkan nilai titik-titik yang berada di sekitarnya dan disebut dengan pembobotan. Mekanisme tersebut dapat

memprediksi sifat non-linier dari sejumlah data spasial dibandingkan dengan metode *downscaling* yang lainnya yang hanya mampu melakukan regresi secara linier (Ma *et al.*, 2021). GWR *downscaling* telah banyak digunakan oleh penelitian-penelitian sebelumnya seperti *downscaling* suhu permukaan tanah (Wang *et al.*, 2021), populasi penduduk (Chen *et al.*, 2019), dan penyimpanan air tanah (Ali *et al.*, 2024).

Elvidge (1997) menyatakan bahwa terdapat hubungan positif yang kuat antara *Nighttime Light* (NTL) dengan PDRB. Sutton & Costanza (2002) menggunakan NTL untuk menghasilkan data estimasi PDB secara global dengan resolusi 1 km². Namun di beberapa wilayah administrasi sub-nasional tidak berkontribusi pada PDB karena wilayah tersebut tidak mempunyai penerangan malam. Hal tersebut disebabkan karena NTL hanya sensitif terhadap daerah perkotaan dan tidak sensitif terhadap daerah yang didominasi oleh area pertanian. Oleh karena itu data tutupan lahan (*land cover*) digunakan untuk meningkatkan akurasi pada daerah pedesaan (Chen *et al.*, 2016; Murakami & Yamagata, 2019; Sun *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2023). Penggunaan kedua data tersebut dapat membedakan aktivitas ekonomi sektor pertanian dan non-pertanian. NTL digunakan untuk merepresentasikan kegiatan sektor non-pertanian dan tutupan lahan digunakan untuk mendeteksi kegiatan sektor pertanian (Cao *et al.*, 2016; Ustaoglu *et al.*, 2021). Namun penggunaan kedua data tersebut tidak akurat merepresentasikan kegiatan sektor pertanian lebih mendalam seperti pertanian, kehutanan, perkebunan, dan perikanan. Oleh karena itu, penelitian ini menambahkan variabel indeks vegetasi sebagai pembobot dalam mengestimasi PDRB *downscaling* baik pada kegiatan sektor pertanian maupun non-pertanian menggunakan metode GWR. Indeks vegetasi digunakan karena variabel tersebut dapat mengestimasi produktivitas suatu lahan dengan penggunaan lahan yang berbeda-beda antara lahan satu dengan lahan yang lainnya (Sun *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2019). Hal ini dapat dimanfaatkan untuk mengestimasi nilai PDRB *downscaling* yang bersifat heterogen, sehingga nilai PDRB estimasi dapat lebih memproyeksikan kegiatan ekonomi dalam satuan wilayah.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah kawasan Metropolitan Semarang atau yang dikenal dengan Kawasan Kedungsepur. Kawasan Kedungsepur berada di Provinsi Jawa Tengah yang terdiri dari 4 kabupaten dan 2 kota yaitu Kabupaten Kendal, Kabupaten Demak, Ungaran (Kabupaten Semarang), Kota Salatiga, Kota Semarang, dan Purwodadi (Kabupaten Grobogan) (Gambar 1). Karakteristik topografi dari kawasan tersebut termasuk ke dalam topografi kompleks yaitu terdapat kawasan perkotaan, kawasan pedesaan, area pertanian, area hutan, di bagian utara terdapat daerah pesisir yang berbatasan dengan Laut Jawa, dan terdapat dataran tinggi dengan adanya Gunung Merbabu dan Gunung Ungaran. Selain itu, ketersediaan data dari Metropolitan Semarang juga menjadi dasar untuk digunakan sebagai lokasi penelitian.

Data

Data yang digunakan pada penelitian memiliki 2 tipe data. Pertama, data statistik PDRB setiap kabupaten dan kota di Kawasan Kedungsepur tahun 2019 yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik sebagai variabel dependen. Data PDRB dibagi menjadi 2 sektor yaitu sektor pertanian (minus



Gambar 1. Peta Administrasi Kedungsepur sebagai lokasi penelitian (Sumber: Badan Informasi Geospasial, 2019)

Tabel 1. Variabel untuk GWR downscaling PDRB

Variabel	Deskripsi	Penggunaan	Sumber Data
PDRB Sektor Primer	Nilai PDRB sektor primer minus pertambangan	Sektor Primer	BPS
PDRB Sektor Sekunder dan Tersier	Nilai PDRB sektor sekunder dan tersier	Sektor Sekunder dan Tersier	BPS
NTL	<i>VIIRS Nighttime Light</i>	Sektor Sekunder dan Tersier	Google Earth Engine
Hutan	Tutupan lahan hutan	Sektor Primer	Google Earth Engine
Padang Rumput	Tutupan lahan padang rumput	Sektor Primer	Google Earth Engine
Lahan Pertanian	Tutupan lahan pertanian	Sektor Primer	Google Earth Engine
Badan Air	Tutupan lahan badan air	Sektor Primer	Google Earth Engine
Lahan Terbangun	Tutupan lahan terbangun	Sektor Sekunder dan Tersier	Google Earth Engine
EVI	Indeks untuk mengidentifikasi area hijau	Sektor Primer	Google Earth Engine
SAVI	Indeks untuk mengidentifikasi area hijau dengan mempertimbangkan kecerahan tanah	Sektor Primer	Google Earth Engine
MNDWI	Indeks untuk mengidentifikasi badan air	Sektor Primer	Google Earth Engine
NDBI	Kepadatan lahan terbangun	Sektor Sekunder dan Tersier	Google Earth Engine
<i>Density Road</i>	Panjang jalan per luas grid	Sektor Sekunder dan Tersier	OpenStreetMap
Koordinat	Titik koordinat setiap grid	Sektor Primer, Sekunder dan Tersier	QGIS

pertambangan) serta sektor sekunder dan tersier. Kedua, data raster dengan resolusi 500 m x 500 m per grid tahun 2019 sebagai variabel independen atau kovariat yang dikumpulkan dengan menggunakan *Google Earth Engine* (GEE). Data raster tersebut digunakan untuk menghasilkan data PDRB

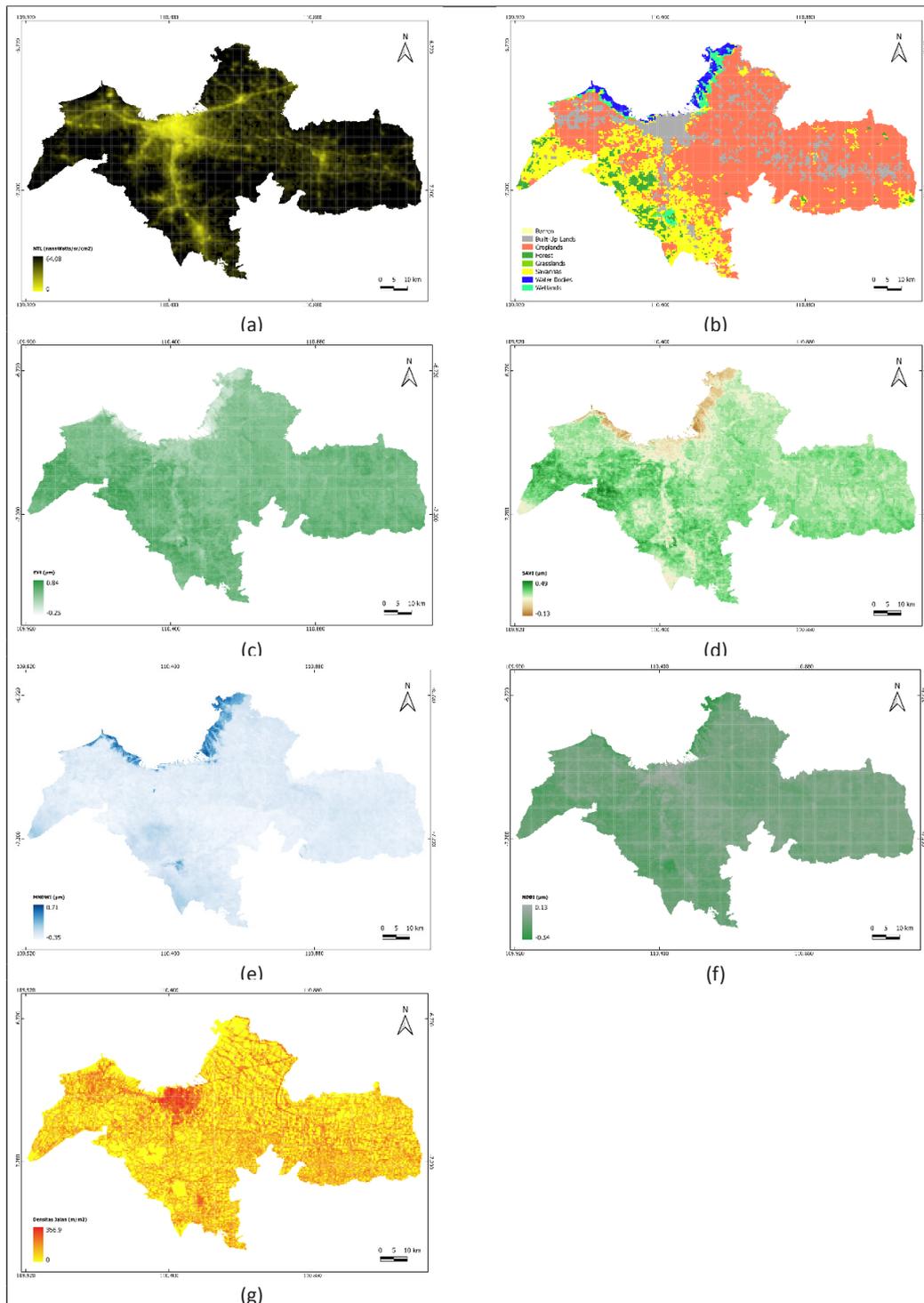
grid dengan cara *downscaling*. Kovariat grid yang digunakan dalam penelitian yaitu NTL dan tutupan lahan. Namun untuk mendapatkan nilai estimasi yang lebih akurat dan mengurangi galat dilakukan penambahan kovariat yaitu EVI (*Enhanced Vegetation Index*), SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*),

dan MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*) untuk estimasi PDRB sektor primer dan menambahkan NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*), dan *density road* untuk estimasi PDRB sektor sekunder dan tersier. Kovariat-kovariat tersebut dan penggunaannya dapat di lihat pada Tabel 1 dan peta gridnya dapat dilihat pada Gambar 2. Selain itu untuk membantu memudahkan dalam pengolahan data ditambahkan titik koordinat (X, Y) dari masing-masing grid.

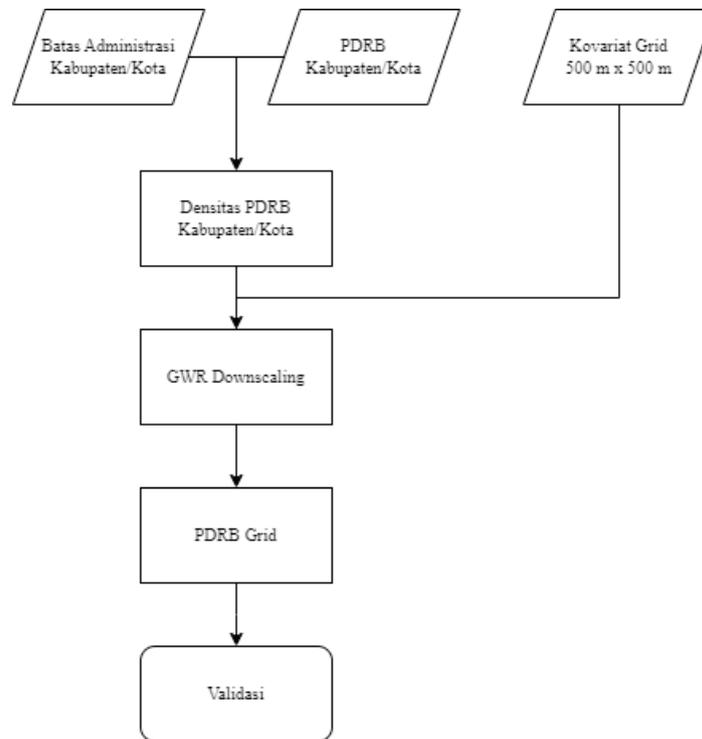
NTL banyak digunakan untuk menghasilkan PDRB grid karena bersesuaian dengan kegiatan ekonomi pada sektor sekunder dan tersier (Xu *et al.*, 2023). Jenis data NTL yang digunakan yaitu VIIRS tahunan yang telah memfilter cahaya matahari, cahaya bulan, dan awan untuk mengurangi bias dari

data. *Department of Defense* bekerja sama dengan *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* untuk memproduksi data NTL.

Data tutupan lahan yang diterbitkan oleh *United States Geological Survey (USGS)* digunakan untuk menghasilkan peta tutupan lahan dengan resolusi 500 m x 500 m. Penelitian ini menggunakan data tutupan lahan tipe 1 yang terdiri dari 17 jenis tutupan lahan. Namun, dari 17 kategori hanya digunakan 10 jenis tutupan lahan yang kemudian dikelompokkan menjadi 5 kelompok tutupan lahan yaitu hutan (*Evergreen Needleleaf Forests, Evergreen Broadleaf Forests, Deciduous Needleleaf Forests, Deciduous Broadleaf Forests, dan Mixed Forests*), padang rumput (*Grasslands*), lahan pertanian (*Croplands*



Gambar 2. Kovariat grid 500 m x 500 m kawasan Metropolitan Semarang: (a) NTL, (b) tutupan lahan, (c) EVI, (d) SAVI, (e) MNDWI, (f) NDBI, dan (g) densitas jalan (Sumber: Google Earth Engine, 2023)



Gambar 3. Diagram alir downscaling PDRB dengan GWR

dan *Cropland/Natural Vegetation Mosaics*), lahan terbangun (*Urban and Built-up Lands*), dan badan air (*Water Bodies*). Lahan terbangun digunakan untuk menghasilkan peta PDRB grid pada sektor sekunder dan tersier, dan kelompok tutupan lahan yang lainnya digunakan pada sektor primer.

Data EVI, SAVI, MNDWI, NDBI didapatkan dengan cara menghitung masing-masing variabel tersebut dari *Landsat dataset* yang diterbitkan oleh USGS. Jenis *dataset* yang digunakan yaitu *Landsat 8* yang memuat data tahun 2019. NDBI digunakan untuk menghasilkan peta PDRB grid pada sektor sekunder dan tersier. Data-data yang lain digunakan untuk menghasilkan peta PDRB grid pada sektor primer.

Density Road atau densitas jalan didapatkan dengan cara menghitung panjang jalan per satuan luas setiap grid. Data jaringan jalan yang digunakan diterbitkan oleh Rupa Bumi Indonesia (RBI). Kepadatan jalan dihitung dengan menggunakan *tool Sum Line Lengths* pada QGIS untuk mengetahui total panjang jalan setiap gridnya. Kemudian panjang jalan setiap grid dibagi dengan luasan grid untuk menghasilkan kepadatan jalan.

Titik koordinat setiap grid (X, Y) dihasilkan dengan menggunakan *tool Centroid* pada QGIS untuk menentukan titik tengah masing-masing grid. Koordinat setiap titik tengah dihasilkan dengan menggunakan *tool Add Coordinate to Points* pada QGIS.

Metodologi Penelitian

Gambar 3 menunjukkan proses untuk menghasilkan PDRB grid dengan menggunakan GWR *downscaling*. Pertama, data PDRB setiap kabupaten/kota dibagi dengan total luas tutupan lahan yang berkesesuaian dengan sektor primer atau sekunder dan tersier untuk mengetahui densitas PDRB setiap grid pada masing-masing sektor. Tutupan lahan yang tidak termasuk ke dalam 5 kelompok tutupan lahan yang telah dijelaskan sebelumnya diasumsikan tidak berkontribusi terhadap PDRB kabupaten/kota atau bernilai 0. Kedua, estimasi PDRB grid

dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *GWmodelS* yang dikembangkan oleh Lu *et al.* (2023). Metode *downscaling* PDRB menggunakan 2 jenis fungsi kernel yaitu Gaussian dan Bisquare dengan 2 tipe bandwidth yaitu Fixed dan Adaptive. Ketiga, dilakukan validasi untuk mengetahui pendekatan yang paling baik digunakan untuk mengestimasi nilai PDRB grid. Validasi tersebut menggunakan PDRB estimasi yang dihitung dengan menjumlahkan semua nilai PDRB grid dalam satu wilayah.

Metode GWR *downscaling* dapat digunakan untuk memperkirakan model regresi yang bersifat lokal seperti grid secara spasial (Chu *et al.*, 2019). Metode tersebut dapat dinyatakan sebagai

$$Y_i = \beta_{i0} \sum_{k=1}^m \beta_{ik} X_{ik} + \varepsilon_i \quad (\text{Z. Xu et al., 2023}) \quad (1)$$

dengan Y_i adalah nilai PDRB pada lokasi i ; β_{i0} adalah intersep pada lokasi i ; $m \in \{1, 2, 3, \dots\}$ adalah independen variabel; β_{ik} adalah koefisien regresi lokal untuk k-variabel independen pada lokasi i ; X_{ik} adalah k-independen variabel pada lokasi i ; dan ε_i adalah galat pada lokasi i (Z. Xu *et al.*, 2023).

Validasi dilakukan dengan menggunakan 3 metrik validasi yaitu *mean absolute error* (MAE), *root mean square error* (RMSE), dan koefisien determinasi (R^2). Fungsi dari metrik-metrik tersebut dinyatakan sebagai berikut,

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| \quad (\text{Z. Xu et al., 2023}) \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (\text{Z. Xu et al., 2023}) \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (\text{Z. Xu et al., 2023}) \quad (4)$$

dengan Y_i adalah PDRB aktual untuk wilayah i ; \hat{Y}_i adalah PDRB estimasi untuk wilayah i ; \bar{Y} adalah rata-rata PDRB aktual untuk semua wilayah, dan n adalah jumlah wilayah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode *downscaling* pada penelitian ini menggunakan GWR dengan dua jenis fungsi kernel yaitu gaussian dan bisquare. Sedangkan tipe *bandwidth* yang digunakan yaitu *fixed* dan *adaptive*. Sehingga pendekatan yang dilakukan menggunakan 4 pendekatan dengan mengkombinasikan antara jenis fungsi kernel dan tipe *bandwidth* yang digunakan. Pendekatan-pendekatan tersebut dibandingkan untuk mengetahui pendekatan yang paling efektif digunakan dalam melakukan estimasi PDRB grid dan PDRB wilayah. Metode perbandingannya menggunakan 3 jenis metrik yaitu MAE, RMSE, dan R^2 . Nilai MAE dan RMSE yang lebih kecil dan nilai R^2 yang lebih besar menunjukkan efektifitas yang paling baik dari pendekatan yang digunakan. Tabel 2 menunjukkan besar

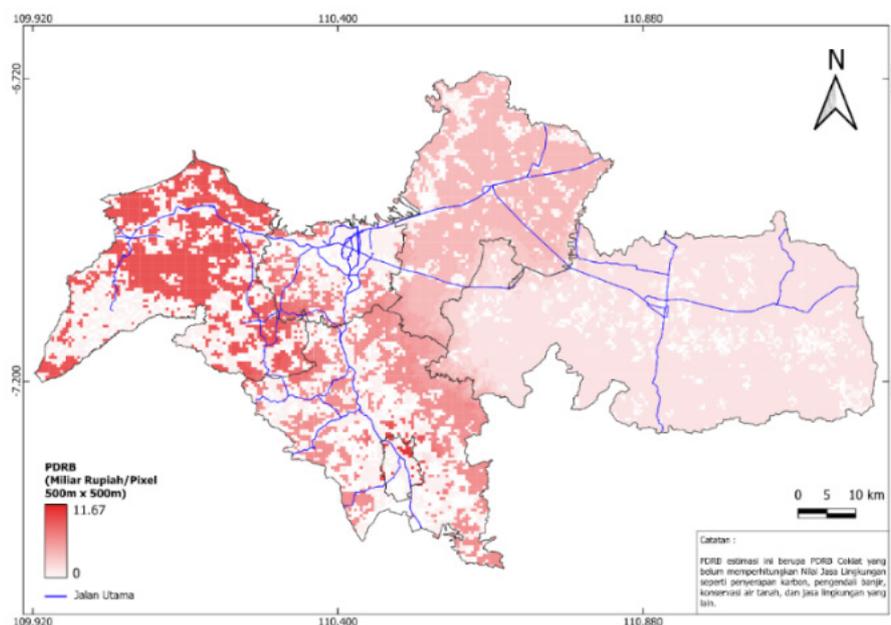
nilai metrik validasi dari keempat pendekatan pada PDRB estimasi sektor primer, sektor sekunder dan tersier, dan PDRB total.

Berdasarkan Tabel 2 di atas pendekatan menggunakan fungsi kernel gaussian lebih baik dibandingkan dengan bisquare pada ketiga PDRB estimasi, baik pada tipe *bandwidth adaptive* maupun *fixed*. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai MAE dan RMSE relatif lebih kecil dan nilai R^2 relatif lebih besar. Namun semua pendekatan yang dilakukan baik untuk digunakan untuk *downscaling* dengan ditunjukkannya nilai R^2 yang mendekati nilai 1. Pada PDRB estimasi sektor primer pendekatan yang paling baik adalah Gaussian-Adaptive. PDRB estimasi sektor sekunder dan tersier paling baik menggunakan pendekatan Gaussian-Fixed, begitu juga dengan PDRB estimasi total. Secara keseluruhan penggunaan metode GWR *downscaling* untuk mengestimasi nilai PDRB grid, baik sektor primer, sektor sekunder dan tersier maupun total PDRB, pendekatan yang paling baik digunakan adalah *Gaussian-Fixed*.

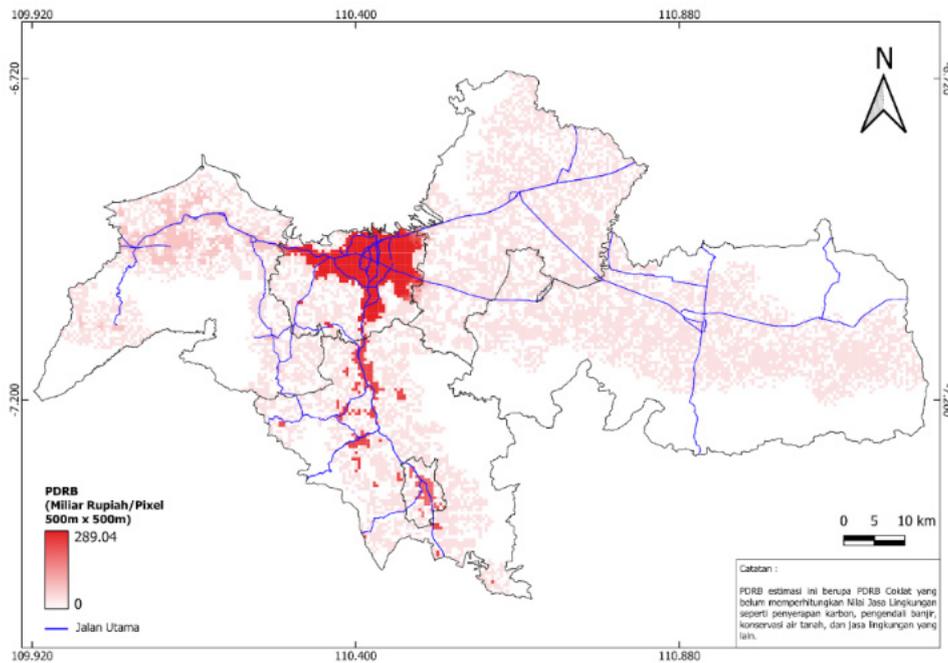
Tabel 2. Perbandingan validasi data metode GWR downscaling

PDRB Estimasi	Pendekatan	MAE	RMSE	R^2
Sektor Primer	Gaussian-Adaptive	122	154	0.9980
	Bisquare-Adaptive	591	734	0.9451
	Gaussian-Fixed	123	156	0.9980
	Bisquare-Fixed	1004	1263	0.8506
Sektor Sekunder & Tersier	Gaussian-Adaptive	2146	3239	0.9990
	Bisquare-Adaptive	5471	7832	0.9926
	Gaussian-Fixed	1969	2961	0.9992
	Bisquare-Fixed	6484	9085	0.9894
PDRB Total	Gaussian-Adaptive	2223	3237	0.9989
	Bisquare-Adaptive	5448	7758	0.9923
	Gaussian-Fixed	2047	2960	0.9991
	Bisquare-Fixed	6470	9161	0.9885

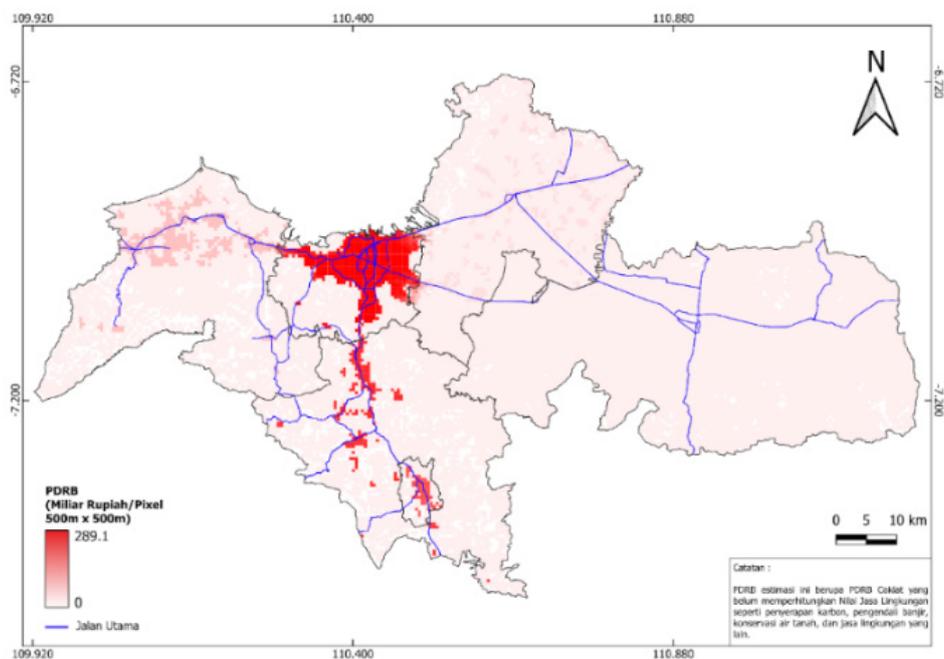
Sumber: Hasil analisis (2024)



Gambar 4. Peta distribusi PDRB estimasi sektor primer (minus pertambangan) pada wilayah Kedungsepur



Gambar 5. Peta distribusi PDRB estimasi sektor sekunder dan tersier pada wilayah Kedungsepur



Gambar 6. Peta distribusi PDRB estimasi total pada wilayah Kedungsepur

Gambar 4 menunjukkan PDRB estimasi sektor primer di Kawasan Metropolitan Semarang. Berdasarkan Gambar 4, PDRB hampir secara merata tersebar di wilayah kabupaten dan hanya sedikit yang berada di wilayah kota. Hal tersebut disebabkan karena nilai PDRB sektor primer bersesuaian dengan tutupan lahan yang diperuntukkan untuk kegiatan produksi pada sektor primer. Kegiatan produksi tersebut paling banyak berada di kawasan kabupaten yang masih banyak lahan yang diperuntukkan untuk kegiatan produksi pada sektor primer. Namun nilai PDRB yang relatif lebih besar bukan hanya di Kabupaten Kendal saja, melainkan juga di Kota Salatiga yang didominasi lahan terbangun. Hal tersebut menunjukkan bahwa Kota Salatiga mempunyai lahan produksi yang sedikit namun menghasilkan PDRB yang tinggi atau

mempunyai produktivitas yang relatif tinggi dibandingkan dengan wilayah yang lain dengan ditunjukkan warna grid yang lebih merah dibandingkan area yang lain.

PDRB estimasi sektor sekunder dan tersier terdistribusi di wilayah kota dan perkotaan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Selain itu, nilai PDRB terdistribusi di sekitar jalan utama. Hal ini dipengaruhi oleh kegiatan ekonomi sektor sekunder dan tersier akan berkembang dengan aksesibilitas yang lebih mudah. Nilai PDRB yang tinggi terdistribusi di Kota Semarang, Kota Salatiga, dan sebagian Kabupaten Semarang. Sehingga PDRB sektor sekunder dan tersier lebih tinggi nilainya di kota dan perkotaan, karena wilayah perkotaan lebih banyak kegiatan ekonomi sektor sekunder dan tersier. Sama seperti halnya nilai NTL pada Gambar 2(a)

yang nilainya lebih besar di wilayah perkotaan dibandingkan dengan wilayah perdesaan dengan ditunjukkan tutupan lahan yang didominasi oleh sektor primer.

PDRB estimasi total dihasilkan dengan menjumlahkan PDRB estimasi sektor primer dengan sektor sekunder dan tersier dengan lokasi grid yang sama. Gambar 6 menunjukkan bahwa wilayah kota dan perkotaan memiliki nilai PDRB yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah yang lainnya. Keadan tersebut dipengaruhi oleh kegiatan ekonomi sektor sekunder dan tersier yang menghasilkan PDRB yang lebih tinggi dibandingkan dengan sektor primer.

Tabel 3 merupakan perbandingan PDRB aktual dengan PDRB estimasi hasil penjumlahan dari PDRB grid pada masing-masing wilayah. Berdasarkan dari kedua nilai PDRB didapatkan selisih nilai secara absolut. Selisih tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai PDRB aktual dan disajikan dalam bentuk persentase. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa persentase galat bernilai kecil yaitu kurang dari 3% kecuali pada Kabupaten Demak yang memiliki persentase galat sebesar 19.17%. Hal ini dapat diakibatkan karena bagian pesisir Kabupaten Demak terdapat banyak area lahan basah yang tidak produktif, namun pada variabel MNDWI memiliki nilai positif sehingga ketika proses dijalankan nilai tersebut memberikan pengaruh positif terhadap nilai estimasi PDRB grid. Hal tersebut mengakibatkan galat yang relatif besar.

Koefisien determinasi (R^2) yang ditunjukkan oleh Gambar 7 mendekati nilai 1 yaitu bernilai 0.9991. Hal ini menunjukkan penggunaan indeks vegetasi efektif digunakan dalam *downscaling* PDRB. Namun nilai MAE dan RMSE yang masing-masing mempunyai nilai 2047.47 dan 2960.03 dalam

miliar rupiah masih cukup besar nilai galatnya. Hal ini perlu dilakukan pengembangan metode untuk mendapatkan PDRB estimasi yang nilainya mendekati dengan PDRB aktual.

Elvidge *et al.* (1997) menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif antara NTL dengan aktivitas ekonomi. Penelitian ini juga menunjukkan adanya hubungan yang positif antara NTL dengan nilai PDRB pada sektor sekunder dan tersier. Nilai NTL besar pada kawasan kota dan perkotaan, begitu juga nilai PDRB sektor sekunder dan tersier nilainya besar pada kawasan kota dan perkotaan. Sutton and Costanza (2002) menyatakan bahwa area yang tidak memiliki penerangan tidak memberikan kontribusi pada PDRB. Pernyataan itu benar namun hanya berlaku untuk kegiatan ekonomi sektor sekunder dan tersier saja. Meskipun suatu wilayah tidak memiliki nilai NTL, wilayah tersebut memungkinkan untuk berkontribusi pada PDRB sektor primer seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Xu *et al.* (2023) menggunakan data tutupan lahan, ketinggian lahan, dan kemiringan lahan untuk mengestimasi PDRB grid sektor primer. Hasilnya nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.8718. Nilai tersebut jika dibandingkan dengan hasil penelitian ini nilainya lebih kecil. Nilai R^2 untuk PDRB estimasi sektor primer pada penelitian ini yaitu 0.9980. Hal ini menunjukkan indeks vegetasi lebih baik dalam estimasi PDRB grid sektor primer. Karena indeks vegetasi sensitif terhadap produktivitas lahan untuk aktivitas ekonomi sektor primer (Sun *et al.*, 2020; W. Xu *et al.*, 2019).

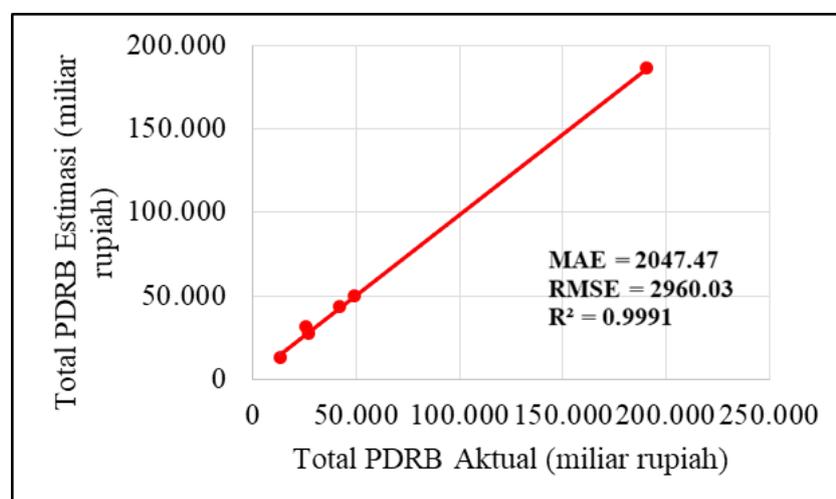
KESIMPULAN

PDRB dengan skala yang lebih kecil dari skala kabupaten/kota yang secara resmi diterbitkan oleh pemerintah dapat

Tabel 3. Perbandingan PDRB aktual dan PDRB estimasi

Kabupaten/Kota	PDRB Aktual	PDRB Estimasi	Selisih	%
Demak	26053.43	31047.69	4994.26	19.17%
Grobogan	26920.33	27574.66	654.33	2.43%
Kendal	41984.47	43102.40	1117.93	2.66%
Kota Salatiga	13305.60	12987.35	318.25	2.39%
Kota Semarang	191009.62	185926.79	5082.83	2.66%
Semarang	49488.40	49605.58	117.18	0.24%

(Sumber: Analisis, 2024)



Gambar 7. Grafik perbandingan total PDRB aktual dengan total PDRB estimasi

dihasilkan dengan menggunakan metode *downscaling*. *Geographically Weighted Regression* (GWR) merupakan salah satu metode *downscaling* yang mempertimbangkan heterogenitas data dan penentuan nilai estimasi dengan cara pembobotan berdasarkan variasi karakteristik geografis. Sehingga dapat dihasilkan distribusi PDRB yang dapat memberikan gambaran aktivitas ekonomi. Hasil dari penelitian yaitu penggunaan indeks vegetasi efektif digunakan dalam *downscaling* PDRB dengan ditunjukkan nilai R^2 untuk PDRB estimasi sektor primer, sektor sekunder dan tersier, dan total PDRB masing-masing 0.9980, 0.9992, dan 0.9991. Metode GWR *downscaling* dengan menggunakan indeks vegetasi dapat diaplikasikan untuk membuat kebijakan publik dalam mengarahkan intervensi perencanaan pembangunan oleh perencana tata ruang atau pemerintah secara lebih rinci dan cermat yang jika dikembangkan lebih lanjut dapat memberi peluang untuk analisis dinamika aliran barang dan jasa berdasar pada sebaran potensi yang terkandung dan tersebar secara spasial yang merupakan penentu dari perkembangan ekonomi. Namun metode tersebut harus dikembangkan lagi karena pada penelitian ini nilai MAE dan RSME termasuk relatif cukup besar dalam ekonomi yaitu 2047.47 dan 2960.03 dalam miliar rupiah. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan cara menambahkan variabel yang menggambarkan aktivitas sosial yang berhubungan dengan aktivitas ekonomi untuk meningkatkan akurasi dari pembobotan nilai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Badan Pusat Statistik yang telah menyediakan data PDRB, pihak Google yang telah memberikan akses secara gratis *Google Earth Engine*, Pengembang *software* QGIS dan *GWmodels*. Penelitian ini tidak didanai oleh sumber pendanaan eksternal.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis Pertama mendesain metode penelitian, analisis data, interpretasi hasil, dan menulis naskah publikasi; **Penulis Kedua** mendesain metode penelitian, supervisi, dan review naskah publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Achsin, S. N., Cangara, H., & Unde, A. A. (2015). *Profil Desa dan Kelurahan sebagai Sumber Informasi: Studi Evaluasi tentang Penyediaan Informasi Potensi Desa dan Kelurahan di Sulawesi Selatan oleh Badan Pemberdayaan Masyarakat Pemerintahan Desa dan Kelurahan (BPMPPDK) Provinsi Sulawesi Selatan*. 4.
- Ali, S., Ran, J., Luan, Y., Khorrami, B., Xiao, Y., & Tangdamrongsub, N. (2024). The GWR model-based regional downscaling of GRACE/GRACE-FO derived groundwater storage to investigate local-scale variations in the North China Plain. *Science of The Total Environment*, 908, 168239. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168239>
- Arifah, M. N. R., & Sari, V. (2023). Peramalan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Atas Dasar Harga Konstan Menurut Lapangan Usaha Menggunakan Weighted Fuzzy Time Series. *Prosiding University Research Colloquium*, 1001-1010.
- BPS. (2023). *Produk Domestik Regional Bruto*. <https://www.bps.go.id/subject/52/produk-domestik-regional-bruto--lapangan-usaha-.html>
- BPS. (2017). *Produk Domestik Regional Bruto Menurut Lapangan Usaha Kabupaten Magelang Tahun 2010 -2016*.
- Cameron, G. C., & Hoover, E. M. (1972). An Introduction to Regional Economics. *The Economic Journal*, 82(328), 1447. <https://doi.org/10.2307/2231342>
- Cao, Z., Wu, Z., Kuang, Y., Huang, N., & Wang, M. (2016). Coupling an Intercalibration of Radiance-Calibrated Nighttime Light Images and Land Use/Cover Data for Modeling and Analyzing the Distribution of GDP in Guangdong, China. *Sustainability*, 8(2), 108. <https://doi.org/10.3390/su8020108>
- Chen, Q., Hou, X., Zhang, X., & Ma, C. (2016). Improved GDP spatialization approach by combining land-use data and nighttime light data: A case study in China's continental coastal area. *International Journal of Remote Sensing*, 37(19), 4610-4622. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1217440>
- Chen, Y., Ge, Y., Chen, Y., Jin, Y., & An, R. (2018). Subpixel Land Cover Mapping Using Multiscale Spatial Dependence. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(9), 5097-5106. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2808410>
- Chen, Y., Zhang, R., Ge, Y., Jin, Y., & Xia, Z. (2019). Downscaling Census Data for Gridded Population Mapping With Geographically Weighted Area-to-Point Regression Kriging. *IEEE Access*, 7, 1-1. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2945000>
- Chu, H.-J., Yang, C.-H., & Chou, C. C. (2019). Adaptive Non-Negative Geographically Weighted Regression for Population Density Estimation Based on Nighttime Light. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/ijgi8010026>
- Donaldson, D., & Storeygard, A. (2016). The View from Above: Applications of Satellite Data in Economics. *Journal of Economic Perspectives*, 30(4), 171-198. <https://doi.org/10.1257/jep.30.4.171>
- Elvidge, C. D. (1997). *Mapping City Lights With Nighttime Data from the DMSP Operational Linescan System*.
- Gu, H., Chen, C., Lu, Y., Chu, Y., & Ma, Y. (2019). Construction of regional economic development model based on remote sensing data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 310(5), 052060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/310/5/052060>
- Henderson, J. V., Squires, T., Storeygard, A., & Weil, D. (2018). The Global Distribution of Economic Activity: Nature, History, and the Role of Trade. *The Quarterly Journal of Economics*, 133(1), 357-406. <https://doi.org/10.1093/qje/qjx030>
- Huang, Z., Li, S., Gao, F., Wang, F., Lin, J., & Tan, Z. (2021). Evaluating the performance of LBSM data to estimate the gross domestic product of China at multiple scales: A comparison with NPP-VIIRS nighttime light data. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129558. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129558>
- Lu, B., Hu, Y., Yang, D., Liu, Y., Liao, L., Yin, Z., Xia, T., Dong, Z., Harris, P., Brunson, C., Comber, L., & Dong, G. (2023). *GWmodels: A software for geographically weighted models*. *SoftwareX*, 21, 101291. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101291>
- Ma, Z., Xue, Y., & Hu, G. (2021). Geographically Weighted Regression Analysis for Spatial Economics Data: A Bayesian Recourse. *International Regional Science Review*, 44(5), 582-604. <https://doi.org/10.1177/0160017620959823>
- McCord, G. C., & Rodriguez-Heredia, M. (2022). Nightlights and Subnational Economic Activity: Estimating Departmental GDP in Paraguay. *Remote Sensing*, 14(5), 1150. <https://doi.org/10.3390/rs14051150>
- Murakami, D., & Yamagata, Y. (2019). Estimation of Gridded Population and GDP Scenarios with Spatially Explicit Statistical Downscaling. *Sustainability*, 11(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/su11072106>
- Nahavandi, A. (2013). *Urban planners, economic development planners, and economic growth*. <http://hdl.handle.net/2152/24320>
- Pramono, R. W. D., & Suminar, R. E. (2019). *Ekonomi Wilayah Untuk Perencanaan Tata Ruang*. Deepublish.
- Shi, K. (2020). Identifying and evaluating poverty using multisource remote sensing and point of interest (POI) data: A case study of Chongqing, China. *Journal of Cleaner Production*.
- Stimson, R. J., Stough, R. R., & Roberts, B. H. (2006). *Regional*

- Economic Development*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/3-540-34829-8>
- Sun, J., Di, L., Sun, Z., Wang, J., & Wu, Y. (2020). Estimation of GDP Using Deep Learning With NPP-VIIRS Imagery and Land Cover Data at the County Level in CONUS. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 1400–1415. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.2983331>
- Sutton, P. C., & Costanza, R. (2002). Global estimates of market and non-market values derived from nighttime satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation. *Ecological Economics*, 41(3), 509–527. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00097-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00097-6)
- USGS. (n.d.). *What is remote sensing and what is it used for?* <https://www.usgs.gov/faqs/what-remote-sensing-and-what-it-used#:~:text=Remote%20sensing%20is%20the%20process,typically%20from%20satellite%20or%20aircraft>.
- Ustaoglu, E., Bovkir, R., & Aydinoglu, A. C. (2021). Spatial distribution of GDP based on integrated NPP-VIIRS nighttime light and MODIS EVI data: A case study of Turkey. *Environment, Development and Sustainability*, 23(7), 10309–10343. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01058-5>
- Wang, S., Luo, Y., Li, X., Yang, K., Liu, Q., Luo, X., & Li, X. (2021). Downscaling Land Surface Temperature Based on Non-Linear Geographically Weighted Regressive Model over Urban Areas. *Remote Sensing*, 13(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/rs13081580>
- Xu, W., Jin, J., Jin, X., Xiao, Y., Ren, J., Liu, J., Sun, R., & Zhou, Y. (2019). Analysis of Changes and Potential Characteristics of Cultivated Land Productivity Based on MODIS EVI: A Case Study of Jiangsu Province, China. *Remote Sensing*, 11(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/rs11172041>
- Xu, Z., Wang, Y., Sun, G., Chen, Y., Ma, Q., & Zhang, X. (2023). Generating Gridded Gross Domestic Product Data for China Using Geographically Weighted Ensemble Learning. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(3), 123. <https://doi.org/10.3390/ijgi12030123>
- Yang, X. Y. (2017). How community-level social and economic developments have changed the patterns of substance use in a transition economy? *Health & Place*, 46, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2017.05.009>