

Pendugaan $PM_{2.5}$ Menggunakan Metode *Geographically Temporally Weighted Regression* di DKI Jakarta

Ilil Firrizqi Nur Ilahi¹, Ervan Ferdiansyah^{1*}, dan Fendy Arifianto¹

¹Program Studi Klimatologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang, Indonesia; e-mail: ervan.kli29@gmail.com

ABSTRAK

Pencemaran udara telah menjadi suatu permasalahan lingkungan serius yang sering dihadapi oleh kota-kota besar termasuk DKI Jakarta. Salah satu partikel pencemar udara yang diyakini berbahaya dan memiliki dampak serius pada gangguan pernapasan manusia karena ukurannya yang sangat kecil adalah $PM_{2.5}$. Beberapa penelitian telah mengambil kesimpulan bahwa parameter meteorologi memiliki peran penting dalam penyebaran, peningkatan dan pengurangan konsentrasi $PM_{2.5}$. Namun, konsentrasi $PM_{2.5}$ akan berbeda bergantung pada topografi dan kondisi suatu wilayah. Sehingga, dalam melakukan pendugaannya dibutuhkan metode yang dapat memperhitungkan keragaman data secara spasial temporal dan menghasilkan nilai dugaan yang bersifat lokal yaitu metode *Geographically Temporally Weighted Regression*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui korelasi atau pengaruh parameter meteorologi terhadap $PM_{2.5}$ serta melakukan pendugaan nilai konsentrasi $PM_{2.5}$ menggunakan metode GTWR di wilayah DKI Jakarta. Hasil menunjukkan bahwa parameter meteorologi berkorelasi atau memiliki pengaruh terhadap konsentrasi $PM_{2.5}$ khususnya parameter suhu dan kelembaban. Pada perbandingan model terbaik menunjukkan bahwa metode GTWR merupakan metode pendugaan yang menghasilkan hasil yang lebih baik dari metode regresi linear berganda dengan nilai R^2 sebesar 0,4156, RSS sebesar 844301,3 dan AIC sebesar 0,3410. Nilai R^2 yang kecil dapat diakibatkan oleh faktor-faktor kompleks yang tidak dapat dipertimbangkan sepenuhnya, seperti aktivitas industri, transportasi, dan perubahan kebijakan lingkungan.

Kata kunci: Pencemaran Udara, $PM_{2.5}$, Parameter Meteorologi, GTWR, DKI Jakarta

ABSTRACT

Air pollution has become a serious environmental issue frequently faced by major cities, including DKI Jakarta. One of the air pollutant particles believed to be dangerous and has a serious impact on human respiratory problems because of its very small size is $PM_{2.5}$. Several studies have concluded that meteorological parameters have an important role in the distribution, increation and reduction of $PM_{2.5}$ concentrations. However, it will differ depending on the topography and conditions of an area. Therefore, estimating $PM_{2.5}$ concentrations requires a method that considers the spatial and temporal variability of the data, producing locally relevant estimates namely *Geographically Temporally Weighted Regression* method. This research aims to determine the correlation between meteorological parameters to $PM_{2.5}$ and to estimate the concentration values using the GTWR method in the DKI Jakarta area. The results show that meteorological parameters having a correlation with $PM_{2.5}$ concentrations, especially temperature and humidity parameters. A comparison of the best models shows that the GTWR method produces better results than the multiple linear regression method with an R^2 value of 0.4156, RSS of 844301.3 and AIC of 0.3410. Small R^2 values can result from complex factors that cannot be fully considered, such as industrial activity, transportation, and changes in environmental policy.

Keywords: Air Pollution, $PM_{2.5}$, Meteorological Parameters, GTWR, DKI Jakarta

Citation: Ilahi, I. F. N., Ferdiansyah, E., dan Arifianto, F. (2024). Pendugaan $PM_{2.5}$ Menggunakan Metode *Geographically Temporally Weighted Regression* di DKI Jakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(6), 1435-1440, doi:10.14710/jil.22.6.1435-1440

1. PENDAHULUAN

Globalisasi yang semakin pesat berkembang telah mendorong perubahan dan perkembangan yang lebih pada sektor ekonomi, industri hingga jumlah populasi manusia. Perkembangan-perkembangan tersebut telah menjadi salah satu penyebab berkurangnya lahan terbuka hijau khususnya di wilayah-wilayah kota (Yang dkk., 2013; Crippa dkk.,

2019). Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) DKI Jakarta dalam katalog Proyeksi Penduduk Indonesia 2015-2045 memproyeksikan bahwa penduduk di DKI Jakarta akan terus meningkat hingga 11,23 juta jiwa pada akhir tahun 2045 (Badan Pusat Statistik, 2018). Pertumbuhan penduduk atau populasi ini juga akan meningkatkan mobilitas penduduk.

Perkembangan-perkembangan tersebut kian pesat mengikuti era globalisasi dan kebutuhan akan industri yang semakin meningkat. Namun, disisi lain, perkembangan tersebut telah menyebabkan permasalahan lingkungan serius penyebab masalah kesehatan yaitu pencemaran udara (World Health Organization, 2022). Salah satu partikel pencemar udara tersebut adalah *Particulate Matter* 2,5 (PM_{2.5}) yang berdiameter kurang dari 2,5 µm. Pada tahun 2019 terbukti dalam siaran pers oleh Greenpeace Indonesia menyebutkan bahwa DKI Jakarta menjadi peringkat satu dengan kualitas udara terburuk se-Asia Tenggara yang menyoroti PM_{2.5}. PM_{2.5} sendiri telah terbukti berdampak pada penyakit pernapasan, kardiovaskular hingga kematian dini (Crippa et al., 2019; Pope III, 2002) dan diidentifikasi sebagai penyebab kematian ke empat di China (Yang et al., 2013). Pemerintah Indonesia memiliki kebijakan dalam mengontrol nilai PM_{2.5}. Baku mutu udara ambien nasional sebesar yaitu 15 µg/m³ per tahun dan harian sebesar 65 µg/m³, *Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999*. Sehingga, perlu dilakukan pemantauan PM_{2.5} di DKI Jakarta sebagai bentuk mitigasi dalam menangani permasalahan ini.

Peningkatan konsentrasi PM_{2.5} juga dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti parameter meteorologi yang bertugas seperti distributor PM_{2.5} dari wilayah satu ke yang lain. Berbagai penelitian di China telah menyimpulkan bahwa parameter meteorologi dapat menjelaskan hingga 70% dari penyebab polusi udara. Namun, penelitian terkait hubungan antara PM_{2.5} dengan parameter meteorologi di DKI Jakarta masih terbatas karena bersifat lokal dan variabelnya yang terbatas (Tai et al., 2010). Selain itu, tidak semua wilayah memiliki alat pengukuran nilai konsentrasi PM_{2.5}, sehingga hasil akses data konsentrasi PM_{2.5} sangat terbatas (Aisyiah et al., 2014).

Sehingga, dibutuhkan cara lain untuk mengetahui nilai konsnetrasi PM_{2.5} di suatu wilayah yaitu dengan metode pendugaan. Namun, PM_{2.5} yang bersifat lokal, dalam pendugaannya membutuhkan suatu metode yang dapat menganalisis data secara spasial maupun temporal, sehingga menghasilkan nilai pendugaan yang bersifat lokal. Metode GTWR sangat efektif dalam menangani adanya keragaman data (Debataraja et al., 2021) dari sisi spasial maupun temporal yang dapat memberikan hasil parameter bersifat lokal menurut lokasi dan waktu pengamatan (Yasin et al., 2018).

2. METODE PENELITIAN

Variabel atau data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data PM_{2.5} dan data parameter meteorologi antara lain suhu, kelembaban, curah hujan dan kecepatan angin. Data PM_{2.5} diambil dari website *IQAir* oleh *US Embassy* di titik Jakarta Pusat dan Jakarta Selatan periode tahun 2016-2020. Sedangkan, data parameter meteorologi diambil dari Stasiun Meterologi Kemayoran untuk titik Jakarta Pusat dan Stasiun Klimatologi Banten untuk titik

Jakarta Selatan. Pengambilan lokasi data parameter meteorologi diambil berdasarkan posisi terdekat dari masing-masing titik pengamatan PM_{2.5} dan ketersediaan data. Pengolahan data dilakukan menggunakan *software* Microsoft Excel dan *RStudio*.

2.1. Analisis Deskriptif dan Korelasi Pearson

Metode analisis deskriptif digunakan untuk menganalisis karakteristik parameter meteorologi dan PM_{2.5}. Analisis dekriptif disajikan dalam bentuk pemusatan dan penyebaran data yaitu maksimum, minimum, *mean* dan standar deviasi. Sedangkan, korelasi Pearson digunakan untuk mengukur besarnya hubungan dan pola antar masing-masing parameter meteorologi dengan PM_{2.5}.

2.2. Metode Regresi Linear Berganda

Regresi linear berganda digunakan untuk mengidentifikasi pola hubungan antara variable terikat (Y) yaitu PM_{2.5} dengan variable bebas (X) dalam penelitian ini berupa parameter meteorologi. Secara umum, persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + \dots + \beta_p X_{ip} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Dengan,

Y_i = nilai PM_{2.5} ke- i

X_{ij} = nilai parameter meteorologi ke- i

2.3. Heterogenitas Spasial dan Temporal

Uji heterogenitas spasial dilakukan menggunakan uji *Berusch-Pagan* (BPTest) untuk mengetahui pengaruh perbedaan lokasi terhadap variasi data. Sedangkan, uji heterogenitas temporal dilakukan menggunakan boxplot untuk mengetahui perbedaan variasi data berdasarkan waktu. Setelah mengetahui terdapat adanya keragaman pada data, maka dilakukan pendugaan menggunakan metode GTWR. Sebelum dilakukan pemodelan GTWR, diperlukan nilai *bandwidth* optimum yang didapat menggunakan metode *Cross Validation* (CV). *Bandwidth* diasumsikan sebagai radius maksimal pengaruh lokasi satu dengan yang lain. *Bandwidth* optimum digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai pembobot yang didapat saat nilai CV minimum.

2.4. Metode Geographically Temporally Weighted Regression (GTWR)

Metode GTWR digunakan sebagai pendekatan efektif pada data dengan heterogenitas spasial dan temporal dengan persamaan (Huang *et al.*, 2010) yaitu:

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i, t_i) x_{ik} \quad (2)$$

Dengan,

Y_i = nilai model PM_{2.5} pada setiap lokasi $\beta_k(u_i, v_i, t_i)$ dan waktu t_i

$\beta_0(u_i, v_i, t_i)$ = konstanta model GTWR

x_{ik} = nilai parameter meteorologi ke- i pada titik lokasi pengamatan ke- i

Estimasi parameter untuk tiap lokasi diperoleh dari fungsi pembobot yang berbeda untuk setiap lokasi pengamatan, Besar pembobot ditentukan menggunakan fungsi *Bisquare* karena menghasilkan hasil yang lebih baik dengan standar error yang lebih kecil (Debataraja et al., 2021).

$$w_{ij} = \begin{cases} 1 - \left(\frac{d_{ij}^{ST}}{h_{ST}}\right)^2; & d_{ij} \leq h_{ST} \\ 0; & d_{ij} > h_{ST} \end{cases} \quad (3)$$

Dengan $(d_{ij}^S)^2 = (u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2$ dan $(d_{ij}^T)^2 = (t_i - t_j)^2$ merupakan fungsi jarak Euclidean untuk memperoleh fungsi jarak spasial-temporal (d_{ij}) antara titik i dan titik j serta h_{ST} merupakan *bandwidth* spasial-temporal. *Bandwidth* merupakan titik di dalam radius suatu lingkaran yang dianggap berpengaruh terhadap lokasi pengamatan ke- i . Pemilihan *bandwidth* optimum penting untuk ketepatan model yang dilakukan menggunakan metode *Cross Validation* (CV).

$$CV(h) = \sum_{i=1}^n [Y_i - \hat{Y}_{\#i}(h)]^2 \quad (4)$$

$\hat{Y}_{\#i}(h)$ merupakan nilai dugaan PM_{2.5} pada lokasi pengamatan dihilangkan melalui proses penaksiran pendekatan model GWR dengan nilai *bandwidth* optimum diperoleh ketika CV minimum.

2.5. Perbandingan Model

Penentuan model terbaik dilakukan dengan membandingkan nilai R^2 , *Residual Sum of Squares* (RSS) dan *Akaike Information Criterion* (AIC). Model terbaik akan memiliki nilai R^2 dengan RSS dan AIC yang rendah (Debataraja dkk., 2021).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, PM_{2.5} merupakan variabel respon (Y) dan parameter meteorologi yaitu suhu (X₁), kelembaban (X₂), hujan (X₃) dan angin (X₄) merupakan variabel prediktor.

Berdasarkan Tabel 1, selama periode penelitian 2016-2020, rata-rata konsentrasi PM_{2.5} di kedua titik pengamatan sebesar 35,73 µg/m. Angka tersebut masih berada di bawah ambang batas harian 65 µg/m³ sesuai dengan Peraturan Pemerintah. Namun,

nilai tersebut sudah melebihi ambang batas tahunan sebesar 15 µg/m³. Selain itu, berdasarkan penelitian AQLI atau *Air Quality Life Index* oleh Greenstone dan Fang (2019) menyatakan bahwa sejak periode 1998 hingga 2016, Indonesia mengalami peningkatan konsentrasi PM_{2.5} yang sangat drastis hingga 171% dimana pada tahun 2013-2016 meningkat 2 kali lebih besar dengan angka rata-rata pada tahun 2016 sebesar 20-25 µg/m³.

Selain itu, nilai maksimum PM_{2.5} tertinggi adalah sebesar 146 µg/m³ yang dikategorikan tidak sehat. Sehingga, jika dibandingkan dengan periode tahun-tahun sebelumnya, selama tahun 2016-2020, konsentrasi PM_{2.5} di wilayah DKI Jakarta mengalami peningkatan hingga 1,5x lipat. Hal ini tentu akan meningkatkan peluang dampak buruk terjadi baik pada manusia maupun lingkungan. Tingkat pencemaran udara yang buruk dapat menyebabkan gangguan sistem pernafasan terkait penyerapan oksigen dan pembuangan karbondioksida dari tubuh (Arifianto, 2021). Kemudian, pengaruh dari masing-masing variabel prediktor terhadap PM_{2.5} diidentifikasi menggunakan korelasi Pearson.

Pada Tabel 2 terlihat bahwa suhu dan kelembaban memiliki nilai korelasi yang cukup tinggi dan positif. Hal ini menunjukkan bahwa jika suhu atau kelembaban mengalami perubahan 1 satuan, maka nilai PM_{2.5} akan bertambah. Sedangkan, korelasi rendah terjadi pada variabel hujan dan angin. Variabel hujan menunjukkan hubungan yang negatif, sedangkan variabel angin menunjukkan hubungan yang positif.

Parameter meteorologi telah sejak lama diteliti dan diduga sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi konsentrasi PM_{2.5} di suatu wilayah. Selain itu, parameter meteorologi yang bersifat lokal atau berbeda bergantung pada kondisi lingkungan dan topografi suatu wilayah (Agustina dkk., 2019) menyebabkan dampak yang berbeda juga terhadap konsentrasi PM_{2.5}. Penelitian di Kota Dhaka (Kayes dkk., 2019) dan di China (Liu dkk., 2020) menunjukkan bahwa konsentrasi PM_{2.5} dipengaruhi oleh parameter meteorologi. PM_{2.5} berkorelasi negatif dengan suhu, kecepatan angin, curah hujan dan kelembaban yang artinya konsentrasi PM_{2.5} akan menurun sejalan dengan peningkatan pada parameter meteorologi tersebut.

Tabel 1. Analisis Deskriptif Variabel Penelitian

	PM _{2.5} (µg/m ³)	Suhu (°c)	Kelembaban (%)	Hujan (mm)	Angin (m/s)
Min	0,07	24,30	34,00	0,00	0,00
Mean	35,73	26,18	71,40	5,75	1,94
Std. dev	19,64	7,50	21,24	15,19	1,50
Max	146,35	31,20	98,00	277,50	16

Tabel 2. Korelasi Pearson antar Variabel Penelitian

	PM	Suhu	Kelembaban	Hujan	Angin
PM	1,0000	0,5206	0,4192	-0,0975	0,0397
Suhu	0,5206	1,0000	0,9071	0,0535	0,3293
Kelembaban	0,4192	0,9071	1,0000	0,1943	0,3197
Hujan	-0,0975	0,0535	0,1943	1,0000	0,0070
Angin	0,0397	0,3293	0,3197	0,0070	1,0000

Namun, pengaruh parameter meteorologi tersebut berbeda bergantung pada musim dimana suhu dan kelembaban yang tinggi berkorelasi positif dengan PM_{2.5}. Pada penelitian ini, hasil menunjukkan bahwa suhu, kelembaban dan angin memiliki korelasi positif dengan PM_{2.5}. Sedangkan, korelasi negatif ditunjukkan oleh parameter hujan. Hujan akan menyebabkan proses deposisi basah pada proses distribusi partikulat yang menyebabkan konsentrasi partikulat menurun (Liu dkk., 2013; Guo dkk., 2014; Hasan, 2019). Selain itu, penelitian oleh Virgianto (2021) menunjukkan bahwa hujan mempengaruhi penurunan konsentrasi PM_{2.5} berdasarkan besar intensitasnya. Dari pembahasan tersebut dapat disimpulkan bahwa parameter meteorologi memiliki pengaruh pada konsentrasi PM_{2.5} khususnya di DKI Jakarta. Selanjutnya, berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode regresi linier berganda, persamaan yang didapat adalah sebagai berikut.

$$\hat{Y}=1,747+1,971X_1-0,186X_2-0,127X_3-1,895X_4$$

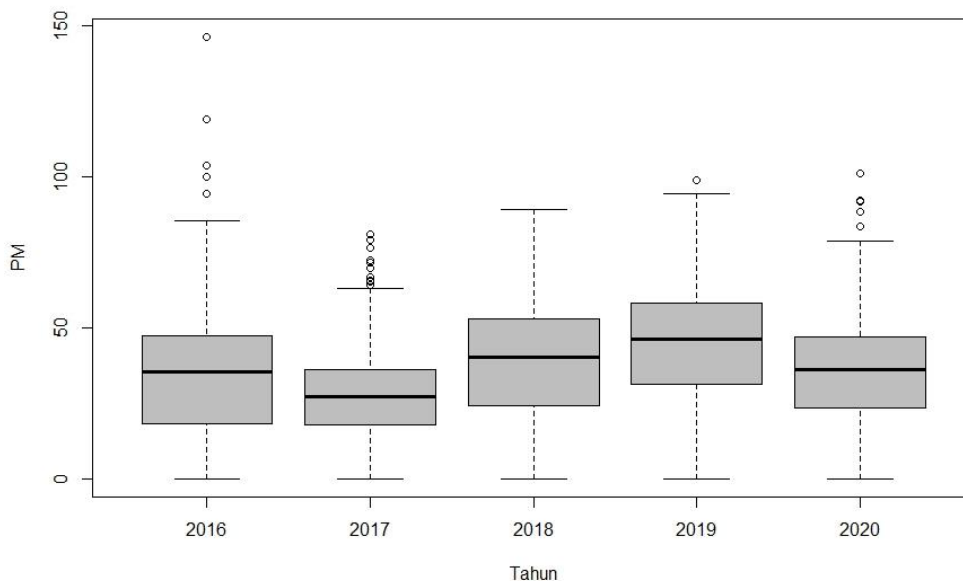
Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa hanya variabel suhu yang mempengaruhi secara positif dimana nilai konsentrasi PM_{2.5} mengalami peningkatan sebesar 1,971 jika suhu mengalami kenaikan 1°C. Parameter lain memberikan pengaruh negatif yang artinya jika terjadi peningkatan 1 satuan pada parameter tersebut akan menurunkan konsentrasi PM_{2.5}.

Sebelum melakukan pengujian menggunakan metode GTWR, akan dilakukan pengujian terhadap data menggunakan uji heterogenitas spasial dan temporal. Pengujian ini penting dilakukan sebagai salah satu syarat terpenuhinya pendugaan

menggunakan metode GTWR. Uji heterogenitas spasial dilakukan untuk mengetahui apakah perbedaan lokasi akan mempengaruhi perbedaan pada data yang ditunjukkan dengan $p\text{-value} < \alpha = 0,05$. Uji heterogenitas spasial dilakukan menggunakan *BPTest* menghasilkan nilai $p\text{-value} < 4,64e^{-15}$. Nilai tersebut mengindikasikan adanya heterogenitas spasial atau perbedaan nilai konsentrasi PM_{2.5} di setiap lokasi. Selanjutnya, dilakukan uji heterogenitas temporal menggunakan *boxplot* untuk mengetahui perbedaan data berdasarkan waktu.

Pada Gambar 2 menunjukkan variasi konsentrasi PM_{2.5} tiap tahunnya yang tidak menentu di kedua titik pengamatan. Tahun 2019 merupakan tahun dengan rata-rata nilai konsentrasi PM_{2.5} tertinggi, sedangkan rata-rata terendahnya terjadi pada tahun 2017. Selain itu, terdapat nilai ekstrem atau *outliers* pada beberapa kejadian terkecuali pada tahun 2018. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa terjadi adanya heterogenitas temporal pada data atau keragaman data PM_{2.5} di setiap tahunnya.

Selanjutnya, pemilihan *bandwidth* spasial optimum menggunakan metode CV untuk dasar pembentukan model GTWR. Berdasarkan pengolahan yang telah dilakukan menggunakan program *RStudio*, nilai *bandwidth* spasial optimum sebesar 1205 dengan nilai CV sebesar 854526,7. Selanjutnya, nilai *bandwidth* tersebut akan digunakan untuk perhitungan bobot Bisquare membentuk persamaan GTWR. Pendugaan menggunakan metode GTWR menghasilkan sebanyak 10 persamaan berdasarkan waktu dan titik pengamatan. Berikut merupakan Tabel persamaan metode GTWR tahun 2016-2020 di masing-masing titik pengamatan.



Gambar 2. Heterogenitas Temporal PM_{2.5}

Tabel 3. Persamaan Metode GTWR

No	Lokasi	Intercept	Suhu	Kelembaban	Hujan	Angin
1	Jakarta Pusat	0,3657	1,5325	0,0443	-0,1041	-3,5434
2	Jakarta Pusat	3,2367	1,3914	-0,1381	-0,0691	-0,7642
3	Jakarta Pusat	1,0241	1,8965	-0,1958	-0,1798	0,3969
4	Jakarta Pusat	5,3253	3,2480	-0,5893	-0,2184	-4,8548
5	Jakarta Pusat	1,4966	1,4001	0,1093	-0,1469	-7,1429
6	Jakarta Selatan	0,3657	1,5325	0,0443	-0,1041	-3,5434
7	Jakarta Selatan	2,8355	1,3138	-0,1068	-0,0727	-0,7179
8	Jakarta Selatan	1,3177	1,9725	-0,2159	-0,1776	0,1009
9	Jakarta Selatan	5,0933	3,1422	-0,5754	-0,2115	-3,0689
10	Jakarta Selatan	1,7327	1,4511	0,0905	-0,1465	-7,0026

Secara keseluruhan, pada persamaan-persamaan tersebut menunjukkan bahwa parameter suhu memberikan pengaruh positif terhadap konsentrasi PM_{2.5}. Sedangkan, parameter hujan, kelembaban dan angin memberikan pengaruh negatif terhadap konsentrasi PM_{2.5}. Pada periode 2018, parameter angin memberikan pengaruh positif di kedua titik pengamatan. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh sifat angin yang dapat membawa partikel pencemar udara dari satu tempat ke tempat lain. Sehingga, angin dapat menyebabkan penurunan maupun peningkatan konsentrasi partikel pencemar udara di suatu wilayah. Sedangkan, parameter kelembaban memberikan pengaruh positif pada periode 2016 dan 2020 di kedua titik pengamatan. Selanjutnya, dilakukan pengujian untuk mendapatkan metode pendugaan terbaik berdasarkan nilai R², RSS dan AIC.

Tabel 4. Pemilihan metode terbaik

Model	R ²	RSS	AIC
Regresi Linear Berganda	0,3131	969163,5	0,3703
GTWR	0,40156	844301,3	0,3410

Pemilihan metode terbaik didapat dengan membandingkan besarnya nilai R², RSS dan AIC dari masing-masing metode. Nilai R² yang tinggi mengindikasikan seberapa baik suatu metode dalam menggambarkan pengaruh data variabel prediktor terhadap variabel respon. Sedangkan, nilai RSS dan AIC menggambarkan seberapa besar error yang dihasilkan oleh suatu metode. Nilai error yang kecil mengindikasikan bahwa metode tersebut dapat menghasilkan nilai prediksi yang hampir sama atau tidak jauh berbeda dengan nilai observasinya.

Dalam analisis hasil, terlihat bahwa metode GTWR menunjukkan nilai R² yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode regresi linear berganda, mencapai 40,15%. Meskipun demikian, rendahnya nilai R² mungkin dipengaruhi oleh faktor-faktor kompleks yang tidak dapat dipertimbangkan sepenuhnya, seperti aktivitas industri, transportasi, dan perubahan kebijakan lingkungan. Kompleksitas polusi udara sering kali melibatkan sumber-sumber lain seperti pola pelepasan polutan dari sumber-sumber lokal yang tidak dapat sepenuhnya dijelaskan oleh model-model tersebut. Selain itu, perubahan dalam kebijakan lingkungan juga dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap tingkat polusi udara yang diamati.

Sejalan dengan penelitian Kusuma dkk. (Kusuma et al., 2019) tentang distribusi PM_{2.5}, analisis yang dilakukan dengan menggunakan regresi linear berganda dan GTWR menunjukkan keterkaitan yang serupa dengan temuan Kusuma. Faktor-faktor kunci yang mempengaruhi PM_{2.5} di DKI Jakarta melibatkan suhu, NDVI, kelembaban, dan area hunian. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mendukung temuan sebelumnya dan menegaskan bahwa pendekatan geospasial dan regresi spasial dapat memberikan pemahaman mendalam terkait distribusi PM_{2.5} dan faktor-faktor kunci yang memengaruhinya di wilayah tertentu.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dibahas, maka dapat disimpulkan bahwa parameter meteorologi seperti suhu, kelembaban, hujan dan angin memiliki pengaruh terhadap peningkatan ataupun penurunan konsentrasi PM_{2.5} di DKI Jakarta. Selain itu, pendugaan konsentrasi PM_{2.5} menggunakan metode GTWR memberikan hasil pendugaan yang lebih baik dibandingkan metode regresi linear berganda. Hal ini ditunjukkan oleh nilai R² yang lebih besar dan nilai RSS serta AIC yang lebih kecil dari metode regresi linear berganda. Selain itu, metode GTWR tepat digunakan dalam penelitian ini karena adanya heterogenitas spasial dan temporal pada data yang digunakan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan titik pengamatan yang lebih banyak agar hasil yang didapat lebih maksimal akibat adanya heterogenitas spasial maupun temporal.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyiah, K., Sutikno, & Latra, I. N. (2014). Pemodelan Konsentrasi Partikel Debu (PM₁₀) pada Pencemaran Udara di Kota Surabaya dengan Metode Geographically-Temporally Weighted Regression. *JURNAL SAINS DAN SENI POMITS*, 2(1), 152-157.
- Badan Pusat Statistik. (2018). *Proyeksi Penduduk Indonesia 2015-2045*.
- Crippa, M., Janssens-Maenhout, G., Guizzardi, D., van Dingenen, R., & Dentener, F. (2019). Contribution and uncertainty of sectorial and regional emissions to regional and global PM health impacts. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(7), 5165-5186. <https://doi.org/10.5194/acp-19-5165-2019>

- Debataraja, N. N., Kusnandar, D., Mahalalita, R., & Imro'ah, N. (2021). Penerapan Model Geographically and Temporally Weighted Regression Pada Kecelakaan Lalu Lintas. *Jurnal Siger Matematika*, 2(1), 19–24.
- Greenstone, M., & Fan, Q. (Claire). (2019). *Indonesia's Worsening Air Quality and its Impact on Life Expectancy*.
- Guo, L.-C., Bao, L.-J., She, J.-W., & Zeng, E. Y. (2014). Significance of wet deposition to removal of atmospheric particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons: A case study in Guangzhou, China. *Atmospheric Environment*, 83, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.11.012>
- Hasan, N. Y. (2019). CHEMICAL COMPOSITION AND SOURCES ATTRIBUTION OF RAINWATER IN BANDUNG AREA, INDONESIA. *International Journal of GEOMATE*, 17(64). <https://doi.org/10.21660/2019.64.87856>
- Huang, B., Wu, B., & Barry, M. (2010). Geographically and temporally weighted regression for modeling spatio-temporal variation in house prices. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(3), 383–401. <https://doi.org/10.1080/13658810802672469>
- Kayes, I., Shahriar, S. A., Hasan, K., Akhter, M., Kabir, M. M., & Salam, M. A. (2019). The relationships between meteorological parameters and air pollutants in an urban environment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5(3), 265–278.
- Kusuma, W. L., Chih-Da, W., Yu-Ting, Z., Hapsari, H. H., & Muhamad, J. L. (2019). PM2.5 Pollutant in Asia—A Comparison of Metropolis Cities in Indonesia and Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24), 4924. <https://doi.org/10.3390/ijerph16244924>
- Lisa Agustina, Presli Panusunan Simanjuntak, & Aulia Nisa'ul Khoir. (2019). Pengaruh Parameter Meteorologi Terhadap Konsentrasi CO2 dan CH4 di DKI Jakarta. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 6(2), 39–47.
- Liu, D., Allan, J., Whitehead, J., Young, D., Flynn, M., Coe, H., McFiggans, G., Fleming, Z. L., & Bandy, B. (2013). Ambient black carbon particle hygroscopic properties controlled by mixing state and composition. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(4), 2015–2029. <https://doi.org/10.5194/acp-13-2015-2013>
- Liu, Y., Zhou, Y., & Lu, J. (2020). Exploring the relationship between air pollution and meteorological conditions in China under environmental governance. *Scientific Reports*, 10(1), 14518. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71338-7>
- Pope III, C. A. (2002). Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA*, 287(9), 1132. <https://doi.org/10.1001/jama.287.9.1132>
- Sholihin, M., Soleh, A. M., & Djuraidah, A. (2017). Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) for Modeling Economic Growth using R. *IJCSN - International Journal of Computer Science and Network*, 6(6), 800–805.
- Tai, A. P. K., Mickley, L. J., & Jacob, D. J. (2010). Correlations between fine particulate matter (PM2.5) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of PM2.5 to climate change. *Atmospheric Environment*, 44(32), 3976–3984. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.06.060>
- World Health Organization. (2022). Ambient (outdoor) air pollution. *Ambient (Outdoor) Air Pollution*.
- Yang, G., Wang, Y., Zeng, Y., Gao, G. F., Liang, X., Zhou, M., Wan, X., Yu, S., Jiang, Y., Naghavi, M., Vos, T., Wang, H., Lopez, A. D., & Murray, C. J. (2013). Rapid health transition in China, 1990–2010: findings from the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet*, 381(9882), 1987–2015. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61097-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61097-1)
- Yasin, H., Warsito, B., Ispiriyanti, D., & Hakim, A. R. (2018). KOMPUTASI GEOGRAPHICALLY AND TEMPORALLY WEIGHTED REGRESSION BERBASIS GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI). *Prosiding Seminar Nasional Statistika*, 1(1), 19–24.