

PREDIKSI KADAR POLUTAN KARBON MONOKSIDA BERDASARKAN TEMPERATUR MAKSIMUM DI PROVINSI DKI JAKARTA DENGAN METODE COKRIGING

**Syehvira Shal Shabilla¹, Toha Saifudin^{2*}, Nur Chamidah³, M. Fariz Fadillah
Mardianto⁴, Siti Maghfirotul Ulyah⁵**

^{1,2,3,4,5}Program Studi Statistika, Departemen Matematika, Fakultas Sains dan
Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

syehvira.al.abilla-2019@fst.unair.ac.id¹, tohasaifudin@fst.unair.ac.id², nur-
c@fst.unair.ac.id³, m.fariz.fadillah.m@fst.unair.ac.id⁴,
maghfirotul.ulyah@fst.unair.ac.id⁵

**Corresponding Author*

Received 20 Januari 2023; revised 21 April 2023; accepted 12 Juli 2023.

ABSTRAK

Polusi udara di DKI Jakarta menduduki peringkat pertama sebagai kota terpadat paling berpolusi di Indonesia tahun 2021 berdasarkan laporan dari *IQ Air*. Polusi udara terbesar di DKI Jakarta berasal dari transportasi. Padahal, 70,5% emisi transportasi mampu berkontribusi menghasilkan polutan karbon monoksida (CO). Kadar CO di lingkungan dapat dipengaruhi temperatur maksimum. Titik pantau kadar CO di DKI Jakarta berjumlah hanya lima titik. Penambahan titik pantau memerlukan waktu yang lama dan biaya yang mahal. Dengan demikian, sangat penting dilakukan prediksi kadar CO di titik lokasi yang tidak diambil sampelnya dengan metode *Cokriging*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja *Cokriging* dalam mengestimasi kadar CO berdasarkan temperatur maksimum dan memprediksi kadar CO pada 44 kecamatan di DKI Jakarta, sehingga dapat dijadikan acuan Pemerintah DKI Jakarta dalam pengambilan kebijakan dan langkah preventif untuk mengoptimalkan penanganan polusi udara yang disebabkan oleh CO. Hasil penelitian menunjukkan kinerja *Cokriging* memiliki tingkat akurasi tinggi dengan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 9,318%. Rata-rata kadar CO di lima titik yang sudah ada adalah 12,003 ppm, sedangkan hasil prediksi di 44 kecamatan menunjukkan enam kecamatan di atas rata-rata tersebut. Meskipun secara keseluruhan kadar CO berada di bawah ambang batas, pemerintah tetap harus memberikan perhatian lebih khususnya pada enam kecamatan antara lain Sawah Besar, Tanah Abang, Tanjung Priok, Kebun Jeruk, Kembangan, dan Setia Budi

Kata kunci: analisis spasial, karbon monoksida, metode cokriging, peta tematik, temperatur maksimum.

ABSTRACT

Air pollution in DKI Jakarta was ranked first as the most polluted populous city in Indonesia in 2021 based on a report from IQ Air. The biggest air pollution in DKI Jakarta comes from transportation. In fact, 70.5% of transportation emissions can contribute to the production of carbon monoxide (CO). CO levels in the environment can be affected by the maximum temperature. There are only five monitoring points for CO levels in DKI Jakarta. Adding monitoring points requires a long time and is expensive. Thus, it is very important to predict CO levels at locations where samples were not taken using the Cokriging method. The purpose of this study was to analyze the performance of the Cokriging in estimating CO levels based on maximum temperature and predicting CO levels in 44 sub-districts in DKI Jakarta, so that it can be used as a reference for the Government of DKI Jakarta in making policies and preventive measures to optimize the handling of air pollution caused by CO. The results showed that the Cokriging performance had a high degree of accuracy with a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 9.318%. The average CO level in the five existing points is 12.003 ppm, while the prediction results in 44 sub-districts show that six sub-districts are above this average. Even though overall CO levels are below the threshold, the government still has to pay more attention, especially to six sub-districts including Sawah Besar, Tanah Abang, Tanjung Priok, Kebun Jeruk, Kembangan, and Setia Budi.

Keywords: spatial analysis, carbon monoxide, cokriging method, thematic maps, maximum temperature.

PENDAHULUAN

Tingginya angka kasus polusi udara membuat Indonesia berada pada peringkat ketujuh belas dunia bahkan pertama di Asia Tenggara sebagai negara dengan tingkat polusi udara tertinggi pada tahun 2021 (Sudaryanto *et al.*, 2022). Menurut laporan kualitas udara dunia yaitu *IQ Air* pada tahun 2021, menyebutkan Jakarta kembali menjadi kota terpadat pertama yang paling berpolusi di Indonesia (Simarmata *et al.*, 2022). Berdasarkan fakta tersebut, isu polusi udara menjadi penting karena secara tidak langsung dapat mengancam ketercapaian semua target dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs) khususnya tujuan 3 terkait kehidupan sehat dan sejahtera, tujuan 11 terkait kota dan permukiman yang berkelanjutan, serta tujuan 15 terkait ekosistem daratan dengan target melindungi hutan yang notabenenya sebagai sumber udara bersih yang sangat penting untuk mengatasi perubahan iklim (Kementerian PPN, 2017).

Polusi udara terbesar di DKI Jakarta bersumber dari 75% transportasi (Kautsar dan Herlinda, 2021). Padahal emisi yang berasal dari transportasi berkontribusi besar pada penambahan angka kasus polusi udara dengan menghasilkan polutan karbon monoksida (CO) mencapai 70,5% (Sasmita *et al.*, 2022). Polutan CO menjadi berbahaya jika dihirup melebihi batas aman dikarenakan dapat mengikat hemoglobin 210 kali lebih kuat dibanding oksigen (Rifai, 2022). Berdasarkan data Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) DKI Jakarta, rata-rata kadar polutan CO tertinggi pada 2021 terdapat pada titik pantau Bundaran HI sebesar 13,746 *part per million* (ppm) dengan kadar polutan harian CO tertinggi sebesar 43 ppm (Dinas Lingkungan Hidup, 2021a). Kondisi ini disebabkan karena Bundaran HI merupakan kawasan yang padat lalu lintas setiap harinya (Kusumaningtiar, 2017). Di sisi lain, diperkirakan jumlah kendaraan akan terus naik di atas 5% per tahun di Provinsi DKI Jakarta (Nelvidawati, 2022). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa polutan CO beserta resikonya akan meningkat setiap tahun di Provinsi DKI Jakarta, sehingga memiliki urgensi yang tinggi untuk segera ditangani.

Pemantauan kadar CO di Provinsi DKI Jakarta hanya ada di lima titik antara lain Bundaran Hotel Indonesia (HI), Jagakarsa, Kelapa Gading, Kebun Jeruk, dan Lubang Buaya (Nelvidawati dan Roza, 2022). Dibandingkan dengan luasnya wilayah DKI Jakarta, jumlah titik pantau yang ada masih jauh dari kata cukup. Berdasarkan laporan akhir dari Dinas Lingkungan Hidup, menunjukkan bahwa jumlah titik pantau perlu diperbanyak minimal 43 titik agar dapat merepresentasikan kondisi kualitas udara di Provinsi DKI Jakarta (Dinas Lingkungan Hidup, 2021b). Namun, dalam prakteknya pengukuran kadar polutan CO membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang mahal. Dengan demikian, perlu dilakukan estimasi pada titik lokasi yang tidak diambil sampelnya.

Kadar polutan CO juga dapat dipengaruhi oleh temperatur maksimum di bumi. Hal ini terbukti pada musim kemarau, kondisi udara lebih kering dan temperatur yang meningkat dari biasanya. Kondisi tersebut menyebabkan kadar polutan cenderung tinggi, kering, dan ringan karena tidak terjadi pengenceran di udara sehingga menyebabkan polutan akan bertahan lama di udara (Prabowo dan Muslim, 2018). Penelitian kadar polutan CO memerlukan data yang cukup dan

dapat mengakomodasi faktor-faktor yang mungkin mempengaruhinya. Namun, berdasarkan ketersediaan data temperatur maksimum di DKI Jakarta pada laman resmi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), terdapat dua stasiun pemantau temperatur maksimum antara lain Stasiun Meteorologi Kemayoran yang berada di Jakarta Pusat dan Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Priok berada di Jakarta Utara.

Dalam statistika sebuah metode untuk mengestimasi nilai variabel di suatu titik lokasi dalam analisis data spasial yaitu metode *Kriging*. *Kriging* merupakan metode interpolasi antar titik data yang dilakukan berdasarkan titik pengambilan sampel dalam rentang tertentu yang menghasilkan estimasi linier yang tidak bias (Maulana *et al.*, 2022). Terdapat beberapa jenis *Kriging* yaitu *Ordinary Kriging*, *Universal Kriging*, dan *Cokriging* (Baffoe-Twum *et. al.*, 2022). Metode yang tepat untuk mengestimasi kasus ini yaitu kadar polutan CO berdasarkan temperatur maksimum adalah dengan metode analisis data spasial pendekatan *Cokriging*. Pendekatan *Cokriging* merupakan perluasan dari pendekatan *Kriging* yang memanfaatkan korelasi silang antar variabel atau adanya variabel sekunder sehingga hasil estimasi menjadi lebih akurat (Giraldo *et. al.*, 2020).

Beberapa penelitian serupa terkait metode *Cokriging* antara lain penelitian oleh Safitri *et al.* (2021) yaitu mengestimasi jumlah kasus positif *Coronavirus disease* (Covid-19) berdasarkan jumlah suspek Covid-19 di Jawa Timur dengan nilai MAPE sebesar 18,17% artinya memiliki tingkat akurasi yang baik. Penelitian oleh Djuraidah *et al.* (2019) dalam memprediksi curah hujan bulanan berdasarkan nilai elevasi pos hujan di Jawa Barat diperoleh nilai *Reduced Means Square Error* antara 0,54 sampai 1 yang menyatakan hasil prediksi memiliki akurasi tinggi. Penelitian oleh Nugraha *et al.* (2020) membuktikan bahwa performa *Cokriging* lebih baik dibandingkan *Kriging* dilihat dari *Standard Error* (SE) sebesar 0,361 untuk *Kriging* dan SE sebesar 0,021 untuk *Cokriging*. Penelitian oleh Maharza dan Rahma (2020) tentang pengaruh *number of neighbors* menunjukkan *Cokriging* memiliki akurasi yang lebih baik dengan nilai SE 0,070 dibandingkan dengan *Ordinary Kriging* dengan nilai SE sebesar 0,338. Selain memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan *Kriging*, menurut Djuraidah *et al.* (2019) *Cokriging* juga memiliki kelebihan yaitu bersifat *Best Linear Unbiased Prediction* (BLUP).

Adapun penelitian serupa terkait data polusi udara antara lain, penelitian oleh Solihah *et al.* (2021) dalam mengestimasi PM2.5 berdasarkan penyakit pernafasan di Jakarta menggunakan metode *Ordinary Kriging*, Ispriyanti (2017) dalam memodelkan ISPU dengan metode *Mixed Geographically Weighted Regression* (MGWR), Latief dan Karyanti (2022) dalam menganalisis ISPU di Jakarta menggunakan metode regresi linier. Berdasarkan penelitian sebelumnya, terdapat beberapa kelemahan pada metode yang pernah digunakan jika diaplikasikan pada penelitian ini. Metode *Ordinary Kriging* merupakan metode yang mengestimasi suatu titik lokasi berdasarkan nilai variabel dititik yang lain dengan satu variabel yang sama, sehingga tidak ada pertimbangan terhadap faktor yang memiliki pengaruh. Metode regresi linier atau regresi global tidak mempertimbangkan dimensi spasial. Adapun model MGWR tidak dapat memprediksi di luar lokasi sampel, karena penduga parameternya sebagian bersifat lokal sesuai dengan lokasi pengamatan (Kusnandar, 2021).

Berdasarkan uraian tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk memprediksi kadar polutan karbon monoksida berdasarkan temperatur maksimum di setiap kecamatan yang tidak terpantau di Provinsi DKI Jakarta sebanyak 44 kecamatan dengan metode *Cokriging*. Penelitian ini menggunakan metode *Cokriging* karena dapat mengestimasi data spasial dengan variabel yang berkorelasi silang dan memiliki variansi minimum sehingga hasil yang didapatkan lebih akurat. Penelitian bertujuan memberikan informasi tentang kadar CO pada titik-titik yang tidak terpantau serta memberikan pertimbangan bagi Pemerintah Daerah DKI Jakarta dalam pengambilan kebijakan terutama pada daerah yang memerlukan penanganan terhadap polusi udara sebagai langkah preventif pemerintah dalam upaya mengoptimalkan penanganan polusi udara yang ada di DKI Jakarta.

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan penelitian ini yaitu data sekunder berupa kadar polutan karbon monoksida dan temperatur maksimum di Provinsi DKI Jakarta pada tahun 2021. Data kadar polutan karbon monoksida diperoleh dari kumpulan data terkait ISPU dalam situs resmi Portal Data Terpadu Pemerintah Provinsi DKI Jakarta yaitu data.jakarta.go.id yang bersumber dari Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI

Jakarta. Adapun data temperatur maksimum diperoleh dari situs resmi BMKG yaitu dataonline.bmkg.go.id.

Adapun terdapat dua variabel yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel Penelitian	Keterangan
Variabel primer (U)	Kadar polutan CO
Variabel sekunder (V)	Temperatur maksimum

Kadar polutan CO yang digunakan diperoleh dari rata-rata kadar CO harian pada 1 Januari sampai 31 Desember 2021 atau selama satu tahun di DKI Jakarta pada lima titik pantau antara lain Bundaran HI mewakili kawasan pusat kota, Jagakarsa mewakili kawasan Jakarta Selatan, Kelapa Gading mewakili kawasan Jakarta Utara, Kebun Jeruk yang mewakili kawasan Jakarta Barat, dan Lubang Buaya mewakili kawasan Jakarta Timur. Temperatur maksimum diperoleh dari rata-rata temperatur maksimum bulanan dari Januari sampai Desember 2021 atau selama satu tahun yaitu pada tahun 2021 di DKI Jakarta dari dua stasiun pantauan data iklim antara lain Stasiun Meteorologi Kemayoran yang berada di Jakarta Pusat dan Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Priok berada di Jakarta Utara.

Berikut langkah kerja dalam menganalisis penelitian ini:

1. Menganalisis kinerja metode *Cokriging* dalam mengestimasi kadar polutan CO di lima titik pantau. Berikut langkah analisis di satu titik lokasi pendugaan:
 - a. Menentukan koordinat lokasi pendugaan $z_0 = (x_0, y_0)$. Penentuan lokasi pendugaan dilakukan bergantian pada lima titik pantau, dengan syarat lokasi penduga bukan merupakan keempat lokasi pengamatan. Misal k sebagai lokasi pendugaan dengan $k = 1, \dots, 5$.
 - b. Menyediakan data variabel primer (U_i) pada koordinat $z_i = (x_i, y_i)$ dengan $i = 1, \dots, k-1, k+1, \dots, 5$; data variabel sekunder (V_i) pada $w_j = (x_j, y_j)$ dengan $j = 1, 2$.
 - c. Membentuk matriks jarak antar lokasi pengamatan yang dapat diperoleh melalui rumus berikut ini:

$$h_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

dengan $i, j = 1, 2, \dots, n$

- d. Menentukan jarak antara lokasi pengamatan dengan lokasi pendugaan menggunakan rumus berikut:

$$h_{i0} = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$$

dengan $i = 1, 2, \dots, n$

- e. Menghitung nilai *experimental auto covariance* dengan rumus:

$$C(h) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [U_i - \bar{U}][U_{i+h} - \bar{U}]$$

dengan N sebagai banyaknya pasangan data yang dipisahkan oleh jarak h , U_i sebagai nilai pengamatan variabel primer pada lokasi ke- i , U_{i+h} sebagai nilai pengamatan variabel primer yang terpisah sejauh h dari lokasi i , dan $\bar{U}$ adalah rata-rata nilai pengamatan variabel primer. Adapun rumus *experimental cross covariance*.

$$C_{12}(h) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [U_i - \bar{U}][V_{i+h} - \bar{V}]$$

dengan V_{i+h} sebagai nilai pengamatan variabel sekunder yang terpisah sejauh h dari lokasi i , dan $\bar{V}$ sebagai rata-rata nilai pengamatan variabel sekunder.

- f. membagi seluruh jarak h_{ij} menjadi k kelas dengan rumus:

$$k = 1 + (3,33 \log(n))$$

dengan n adalah banyak data.

- g. Membuat plot jarak antar lokasi pengamatan (h) terhadap *experimental covariance* untuk menentukan nilai P (*nugget effect*) yang diperoleh melalui nilai *experimental covariance* pada jarak yang paling dekat dengan nol, Q (*sill*) dari nilai maksimum *experimental covariance*, serta r (*range*) *range* diperoleh dari jarak ketika kovariansi mencapai nilai maksimum.
- h. Mengitung nilai model *spherical covariance* $C(h)$ dengan menggunakan rumus (Cressie, 1993):

$$C(h) = \begin{cases} (P + Q) & , h = 0 \\ (P + Q) \left(1 - \frac{3h}{2r} + \frac{h^3}{2r^3}\right) & , 0 < h \leq r \\ 0 & , h > r \end{cases}$$

dengan h adalah jarak antar lokasi dan $P \geq 0$, $Q \geq 0$, dan $r > 0$.

- i. Membentuk matriks $\mathbf{C}$ dan $\mathbf{D}$ dengan elemen matriks seperti berikut (Isaaks dan Srivasta, 1989):

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \text{Cov}(U_1 U_1) & \dots & \text{Cov}(U_1 U_n) & \text{Cov}(U_1 V_1) & \dots & \text{Cov}(U_1 V_m) & 1 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{Cov}(U_n U_1) & \dots & \text{Cov}(U_n U_n) & \text{Cov}(U_n V_1) & \dots & \text{Cov}(U_n V_m) & 1 & 0 \\ \text{Cov}(V_1 U_1) & \dots & \text{Cov}(V_1 U_n) & \text{Cov}(V_1 V_1) & \dots & \text{Cov}(V_1 V_m) & 0 & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{Cov}(V_m U_1) & \dots & \text{Cov}(V_m U_n) & \text{Cov}(V_m V_1) & \dots & \text{Cov}(V_m V_m) & 0 & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \text{Cov}(U_0 U_1) \\ \vdots \\ \text{Cov}(U_0 U_n) \\ \text{Cov}(U_0 V_1) \\ \vdots \\ \text{Cov}(U_0 V_m) \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

dengan $\mathbf{C}$ adalah matriks kovarians yang memiliki elemen *spherical covariance* dari variabel primer dan sekunder antar lokasi pengamatan, serta matriks $\mathbf{D}$ dari variabel primer dan sekunder dengan lokasi penduga.

- j. Menghitung nilai pembobot dengan mengoperasikan matriks $\mathbf{w} = \mathbf{C}^{-1} \mathbf{D}$, sehingga diperoleh vektor $\mathbf{w}$ seperti berikut (Isaaks dan Srivasta, 1989):

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \\ b_1 \\ \vdots \\ b_m \\ \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix}$$

dengan $\mathbf{w}$ merupakan pembobot yang memiliki elemen a_n sebagai pembobot variabel primer, b_m sebagai pembobot variabel sekunder, serta μ_1 dan μ_2 sebagai dua *Lagrange Multiplier*.

- k. Menghitung dugaan variabel primer pada lokasi yang ingin diduga dengan rumus (Isaaks dan Srivasta, 1989):

$$\hat{U}_0 = \sum_{i=1}^n a_i U_i + \sum_{j=1}^m b_j V_j$$

- l. Menghitung nilai APE_k menggunakan rumus (Hendriani *et al.*, 2016):

$$APE_k = \left| \frac{Y_k - \hat{Y}_k}{Y_k} \right| \times 100\% ; k = 1, \dots, 5$$

dengan Y_k sebagai data aktual pada pengamatan ke- k dan $\hat{Y}_k$ sebagai data hasil prediksi pada pengamatan ke- k .

m. Menghitung *MAPE* dengan rumus berikut (Hendriani *et al.*, 2016):

$$MAPE = \frac{\sum_{k=1}^n APE_k}{n} = \frac{\sum_{k=1}^n \left| \frac{Y_k - \hat{Y}_k}{Y_k} \right|}{n} \times 100\%$$

dengan n adalah banyaknya data

m. Menginterpretasikan *MAPE* berdasarkan kategori berikut (Lewis, 1982):

Tabel 2. Kategori Nilai *MAPE*

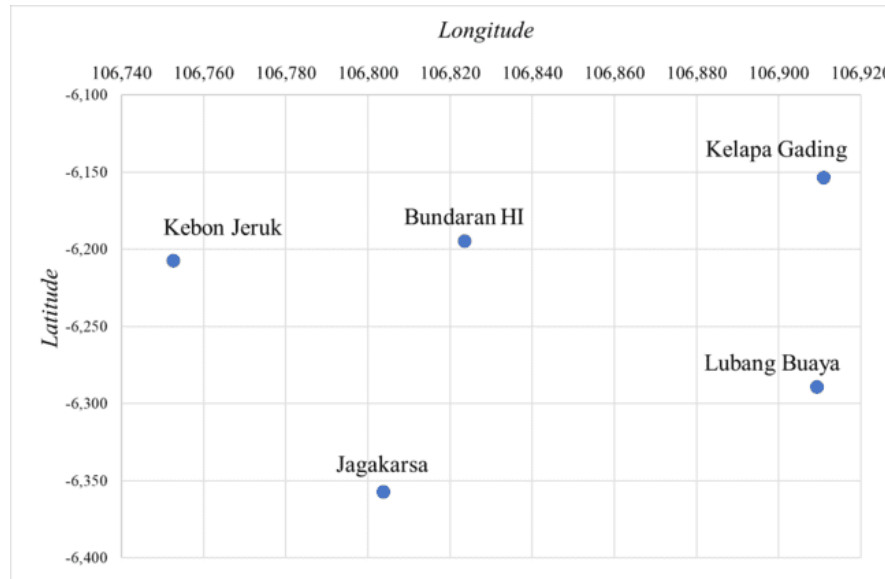
MAPE	Interpretasi
< 10%	<i>Highly Accuracy</i> (Sangat Akurat)
10% - 20%	<i>Good Accuracy</i> (Akurasi Baik)
20% - 50%	<i>Reasonable Accuracy</i> (Akurasi Wajar)
>50%	<i>Bad Accuracy</i> (Akurasi Buruk/ Tidak Akurat)

2. Menentukan estimasi nilai variabel primer pada 44 kecamatan yang ada di DKI Jakarta berdasarkan metode *Cokriging* dengan cara sebagai berikut:
 - a. Menyediakan data variabel primer (U_i) pada $z_i = (x_i, y_i)$ dengan $i = 1, 2, \dots, 5$; dan data variabel sekunder (V_i) pada $w_j = (x_j, y_j)$ dengan $j = 1, 2$; serta koordinat lokasi penduga $z_0 = (x_0, y_0)$ sebanyak 44 kecamatan.
 - b. Selanjutnya melakukan langkah yang sama seperti langkah 1c sampai k.
3. Membuat peta tematik persebaran kadar polutan CO menggunakan hasil estimasi pada 44 kecamatan dengan bantuan *software* Arcgis.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan lima titik lokasi pada variabel primer dan dua titik lokasi pada variabel sekunder di DKI Jakarta tahun 2021. Variabel primer (U) yaitu kadar polutan CO pada lima titik pantau memiliki rata-rata sebesar 12,003 ppm, sedangkan variabel sekunder (V) yaitu rata-rata temperatur maksimum pada dua stasiun pantau sebesar 34,171°C. Dalam mengestimasi dengan metode *Cokriging* juga diperlukan data koordinat *latitude* dan *longitude* lokasi pengamatan. Berikut letak koordinat lokasi pengamatan pada variabel primer dan sekunder disajikan pada Gambar 1.

Prediksi Kadar Polutan Karbon Monoksida Berdasarkan Temperatur Maksimum di Provinsi DKI Jakarta dengan Metode Cokriging



Gambar 1. Plot Lokasi Titik Pantau Kadar Polutan CO

Pada Gambar 1 sumbu X merupakan *longitude* yang menggambarkan bujur timur, sedangkan sumbu Y merupakan *latitude* yang menggambarkan lintang selatan.

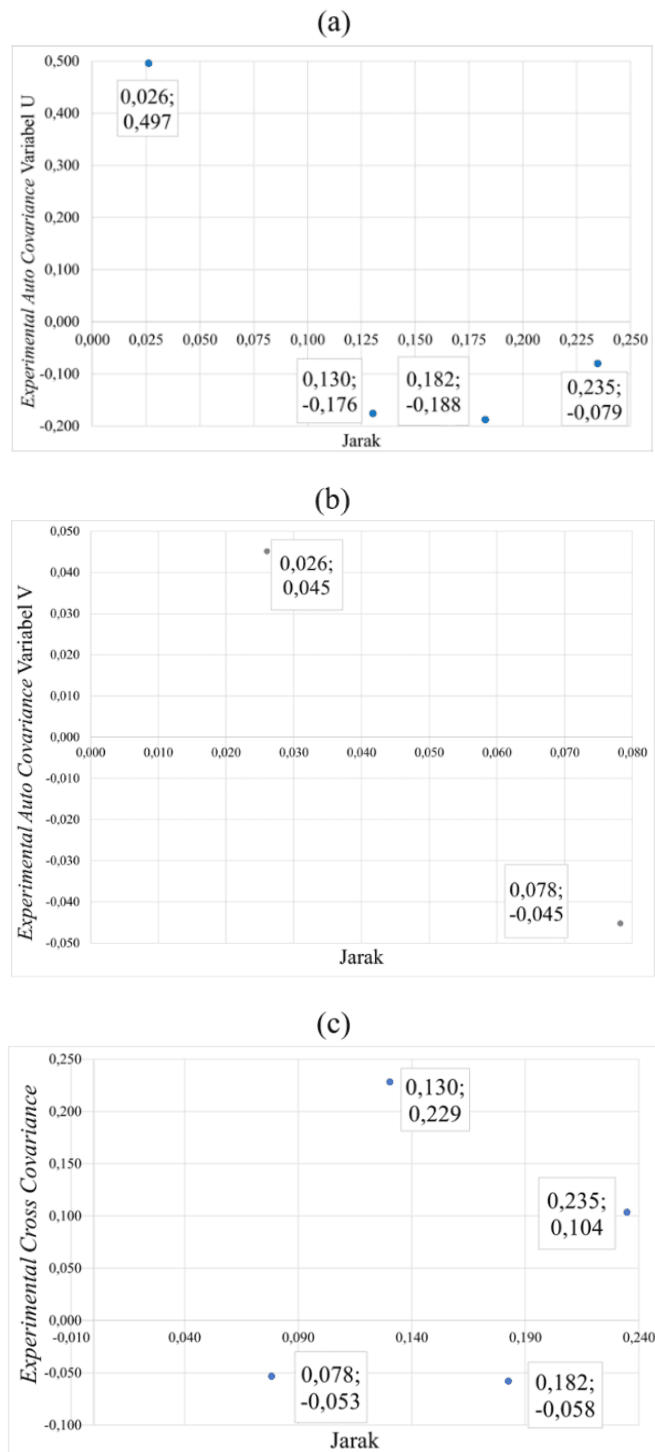
Perlu dilakukan analisis pada kinerja metode *Cokriging* untuk membuktikan bahwa metode ini mampu mengestimasi kadar CO di DKI Jakarta berdasarkan temperatur maksimum berdasarkan nilai MAPE. Lokasi pendugaan yang digunakan untuk menganalisis kinerja metode *Cokriging* dilakukan pada lima titik pantau secara bergantian, sehingga lokasi pengamatan pada variabel U yang digunakan hanya empat titik pantau kadar CO. Setelah menentukan lokasi pendugaan dan pengamatan, dilakukan penghitungan jarak (h) antar jarak antar lokasi pengamatan dan lokasi pengamatan dengan pendugaan. Jarak yang diperoleh yaitu n sebanyak 21 data, kemudian dibagi menjadi k kelas. Berdasarkan jarak tersebut dilakukan penghitungan nilai *experimental auto covariance* dan nilai *experimental cross covariance*. Berikut disajikan nilai *experimental covariance* pada titik pantau Bundaran HI pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai *Experimental Covariance* Berdasarkan Pembagian Kelas

Interval Kelas	Jarak (h)	N	Auto Covariance U	Auto Covariance V	Cross Covariance
0,000 - 0,052	0,026	6	0,497	0,045	
0,052 - 0,104	0,078	4		-0,045	-0,053
0,104 - 0,156	0,130	3	-0,176		0,229
0,156 - 0,208	0,182	6	-0,188		-0,058
0,209 - 0,261	0,235	2	-0,079		0,104

dengan N adalah banyak pasangan yang berjarak h .

Selanjutnya menghitung nilai *spherical covariance* dengan menentukan P , Q , dan r . Berikut disajikan plot jarak terhadap nilai *experimental covariance*.



Gambar 2. (a) *Experimental Auto Covariance Variabel U*, (b) *Experimental Auto Covariance Variabel V*, (c) *Experimental Cross Covariance*

Berdasarkan Gambar 2, dapat ditentukan nilai P , Q , dan r sebagai berikut:

Tabel 4. Penentuan Nilai P , Q , dan r Berdasarkan Plot Jarak terhadap Nilai *Experimental Covariance*

<i>Experimental Covariance</i>	P	Q	r
<i>Experimental Auto Covariance Variabel U</i>	-0,079	0,497	0,026
<i>Experimental Auto Covariance Variabel V</i>	0,045	0,045	0,026
<i>Experimental Cross Covariance</i>	-0,053	0,229	0,130

Sehingga diperoleh rumus *spherical auto covariance* variabel U sebagai berikut:

$$C_U(h) = \begin{cases} (-0,079 + 0,497) & , h = 0 \\ (-0,079 + 0,497) \left(1 - \frac{3h}{2(0,026)} + \frac{h^3}{2(0,026)}\right) & , 0 < h \leq r \\ 0 & , h > r \end{cases}$$

Untuk *spherical auto covariance* variabel V diperoleh:

$$C_V(h) = \begin{cases} (0,045 + 0,045) & , h = 0 \\ (0,045 + 0,045) \left(1 - \frac{3h}{2(0,026)} + \frac{h^3}{2(0,026)}\right) & , 0 < h \leq r \\ 0 & , h > r \end{cases}$$

Adapun untuk *spherical cross covariance* diperoleh:

$$C_{UV}(h) = \begin{cases} (-0,053 + 0,229) & , h = 0 \\ (-0,053 + 0,229) \left(1 - \frac{3h}{2(0,130)} + \frac{h^3}{2(0,130)}\right) & , 0 < h \leq r \\ 0 & , h > r \end{cases}$$

Langkah selanjutnya dilakukan penghitungan nilai *spherical covariance* $C(h)$ untuk membentuk matriks $\mathbf{C}$ dan $\mathbf{D}$ untuk memperoleh nilai pembobot $\mathbf{w}$ terhadap lokasi pendugaan titik pantau Bundaran HI. Berikut pembobot $\mathbf{w}$ yang diperoleh:

$$\mathbf{w} = \mathbf{C}^{-1}\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0,282 \\ 0,221 \\ 0,221 \\ 0,276 \\ 0,779 \\ -0,779 \\ -0,0,92 \\ 0,018 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan pembobot $\mathbf{w}$ yang telah diperoleh tersebut, selanjutnya dilakukan penghitungan estimasi kadar CO di titik pantau Bundaran HI. Berikut proses hitung disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Penghitungan Estimasi Kadar CO ($\hat{U}_0$) di titik pantau Bundaran HI

Pembobot	Nilai Pembobot	U_i	V_j	$a_i U_i$ atau $b_j V_j$
a_1	0,282	11,729		3,302
a_2	0,221	11,078		2,452
a_3	0,221	12,643		2,799
a_4	0,276	10,817		2,983
b_1	0,779		34,383	26,781
b_2	-0,779		33,958	-26,450
Jumlah				11,867

Pada Tabel 5, diperoleh hasil estimasi kadar polutan CO di titik pantau Bundaran HI sebesar 11,867 ppm. Dengan melakukan langkah yang sama pada keempat titik pantau kadar CO lainnya. Berikut hasil estimasi kadar CO pada kelima titik pantau.

Tabel 6. Hasil Estimasi Kadar Polutan CO pada 5 titik pantau di DKI Jakarta dengan Metode *Cokriging*

Titik Pantau	Nilai Aktual	Hasil Estimasi	APE (%)
Bundaran HI (Jakarta Pusat)	13,746	11,867	13,674
Kelapa Gading (Jakarta Utara)	11,729	12,071	2,914
Jagakarsa (Jakarta Selatan)	11,078	12,182	9,965
Lubang Buaya (Jakarta Timur)	12,643	11,842	6,331
Kebon Jeruk (Jakarta Barat)	10,817	12,299	13,706
MAPE (%)			9,318

Berdasarkan Tabel 6, diperoleh nilai APE bervariasi antara 2,914% sampai 13,706% dengan nilai MAPE sebesar 9,318%. Nilai MAPE menunjukkan $< 10\%$, artinya memiliki kategori tingkat akurasi yang tinggi. Sehingga dapat diinterpretasikan bahwa metode *Cokriging* memiliki kinerja yang sangat baik untuk mengestimasi kadar polutan CO di DKI Jakarta berdasarkan temperatur maksimum dan dapat dilanjutkan untuk melakukan estimasi kadar polutan CO pada 44 kecamatan.

Estimasi kadar polutan CO pada setiap kecamatan di DKI Jakarta berdasarkan temperatur maksimum dengan metode *Cokriging* menggunakan 5 titik pantau kadar polutan CO sebagai variabel primer dan 2 stasiun pantau temperatur maksimum. Berikut disajikan pada Tabel 7 hasil estimasi kadar CO pada setiap kecamatan.

Prediksi Kadar Polutan Karbon Monoksida Berdasarkan Temperatur Maksimum di Provinsi DKI Jakarta dengan Metode Cokriging

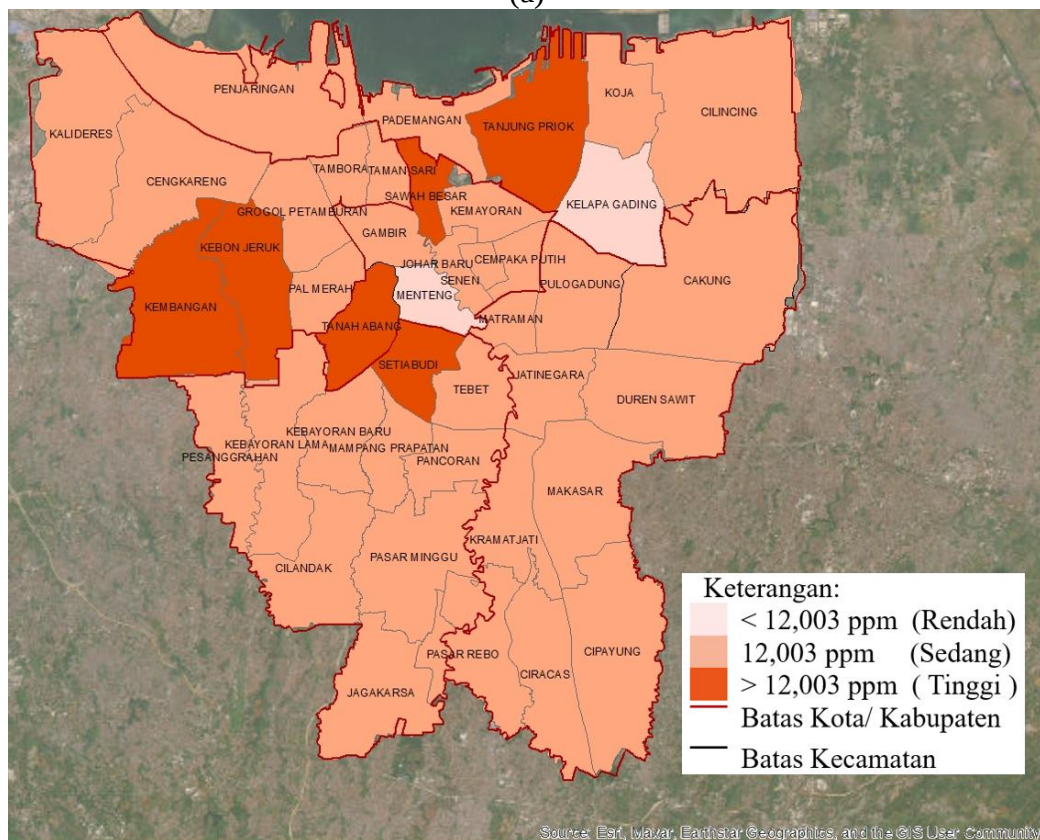
Tabel 7. Hasil Estimasi Kadar CO pada Setiap Kecamatan di DKI Jakarta

Kota/ Kabupaten	Kecamatan	Hasil Estimasi Kadar CO	Rata-Rata
Jakarta Pusat	Cempaka Putih	12,003	12,013
	Gambir	12,003	
	Johar Baru	12,003	
	Kemayoran	12,003	
	Menteng	11,517	
	Sawah Besar	12,103	
	Senen	12,003	
	Tanah Abang	12,474	
Jakarta Utara	Cilincing	12,003	11,993
	Kelapa Gading	11,907	
	Koja	12,003	
	Pademangan	12,003	
	Penjaringan	12,003	
	Tanjung Priok	12,040	
Jakarta Barat	Cengkareng	12,003	12,060
	Grogol Petamburan	12,003	
	Kali Deres	12,003	
	Kebun Jeruk	12,007	
	Kembangan	12,459	
	Palmerah	12,003	
	Taman Sari	12,003	
	Tambora	12,003	
Jakarta Selatan	Cilandak	12,003	12,010
	Jagakarsa	12,003	
	Kebayoran Baru	12,003	
	Kebayoran Lama	12,003	
	Mampang Prapatan	12,003	
	Pancoran	12,003	
	Pasar Minggu	12,003	
	Pesanggrahan	12,003	
	Setiabudi	12,079	
	Tebet	12,003	
Jakarta Timur	Cakung	12,003	12,003
	Cipayung	12,003	
	Ciracas	12,003	
	Duren Sawit	12,003	
	Jatinegara	12,003	
	Kramat jati	12,003	

	Makasar	12,003	
	Matraman	12,003	
	Pasar Rebo	12,003	
	Pulo Gadung	12,003	
Kepulauan Seribu	Kepulauan Seribu Utara	12,003	12,003
	Kepulauan Seribu Selatan	12,003	

Untuk mempermudah dalam melihat persebaran kadar polutan CO dari masing masing kecamatan di DKI Jakarta, maka dapat digambarkan melalui peta tematik dibawah ini:

(a)



memiliki potensi penghasil kadar polutan CO yang tinggi yaitu pada kawasan yang memiliki kadar CO melebihi 12,003 ppm.

SIMPULAN

Penelitian menunjukkan bahwa kinerja metode *Cokriging* dalam mengestimasi kadar polutan CO di DKI Jakarta berdasarkan temperatur maksimum memiliki akurasi yang baik ditunjukkan dari nilai MAPE sebesar 9,318% atau termasuk dalam kategori tingkat akurasi tinggi. Adapun kadar polutan CO yang ada di lima titik pantau memiliki rata-rata 12,003. Berdasarkan hasil estimasi kadar polutan CO pada 44 kecamatan yang ada di DKI Jakarta, menunjukkan bahwa terdapat enam kecamatan di atas rata-rata tersebut, 36 kecamatan sama dengan rata-rata, dan dua kecamatan di bawah rata-rata. Lebih lanjut, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan Pemerintah Daerah DKI Jakarta sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan terutama pada daerah yang memerlukan penanganan akibat polutan CO serta sebagai langkah preventif pemerintah untuk mengoptimalkan penanganan polusi udara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Airlangga, Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Statistika, serta semua pihak yang ikut berkontribusi dalam penyusunan artikel ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashar, M., Sumarlin, S., & Assiddieq, M. (2022). Analisis Parameter Karbon Monoksida (CO) dari Aktivitas Transportasi di Sekitar Industri Pertambangan Nikel (Studi Kasus: Jalan Poros Puuruy-Morosi, Desa Puuruy, Kecamatan Morosi, Kabupaten Konawe). *Jurnal TELUK*. 2(2). 010-015.
- Baffoe-Twum, E., Asa, E., & Awuku, B. (2022). Estimation of Annual Average Daily Traffic (AADT) Data for Low-Volume Roads: A Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *Emerald Open Research*. 4(13). 1-22.
- Cressie, N. A. C. (1993). *Statistics For Spatial Data, Revised Edition*, John Wiley and. New York: Sons, Inc.
- Dinas Lingkungan Hidup. (2021a). *Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) Tahun 2021*. Retrieved November 6, 2023, from <https://data.jakarta.go.id/dataset/indeks-standar-pencemaran-udara-ispu-tahun-2021>.
- Dinas Lingkungan Hidup. (2021b). *Laporan Akhir: Kegiatan Pemantauan Kualitas Udara Provinsi DKI Jakarta Tahun 2021*. Retrieved November 27, 2023,

- from https://lingkunganhidup.jakarta.go.id/files/laporan2021/Laporan_Akhir_Pemantauan_KualitasUdara_2021_final.pdf.
- Djuraidah, A., Rahardianto, S., & Desiwari, A. (2019). Penerapan Metode Cokriging Dengan Variogram Isotropi Dan Anisotropi Dalam Memprediksi Curah Hujan Bulanan Jawa Barat. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. 20(1), 39-46.
- Giraldo, R., Herrera, L., & Leiva, V. (2020). Cokriging Prediction Using as Secondary Variable a Functional Random Field with Application in Environmental Pollution, *Mathematics*. 8(8). 1-13.
- Hendriani, T., Yamin, M., & Dewi, A. P. (2016). Sistem Peramalan Persediaan Obat dengan Metode Weight Moving Average dan Reorder Point (Studi Kasus: Puskesmas Soropia). *Semantik*. 2(2). 207-214.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R.M. (1989). *Applied Geostatistics*. Oxford: Oxford University Inc.
- Ispriyanti, D., Yasin, H., Warsito, B., Hoyyi, A., & Winarso, K. (2017). Mixed Geographically Weighted Regression Using Adaptive Bandwidth to Modeling of Air Polluter Standard Index. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 12(15). 4477–4482.
- Kautsar, M. F., & Herlinda. (2021). *Air Pollution CISDI Report 2021*. Probolinggo: Center for Indonesia's Strategic Development Initiatives (CISDI).
- Kementerian PPN. (2017). *Terjemahan Tujuan & Target Global Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB)/ Sustainable Development Goals (SDGs)*. Jakarta: Kementerian PPN/Bappenas.
- Kusnandar, D., Debataraja, N. N., & Fitriani, S. (2021). Pemodelan Sebaran Total Dissolved Solid Menggunakan Metode Mixed Geographically Weighted Regression. *Jurnal Aplikasi Statistika & Komputasi Statistik*. 13(1). 9-16.
- Kusumaningtiar, D. A., Vionalita, G., & Ardiansyah, S. (2020) Air Pollution of Carbon Monoxide: A Case Study on City Traffic Jam. *Pollution Research*. 39(4). 911–916.
- Latief, M. A., & Karyanti, Y. (2022). Data Mining & Analytic Forecasting Indeks Standar Pencemar Udara Jakarta Menggunakan Metode Linear Regression (Studi Kasus: Dataset Indeks Standar Pencemar Udara Jakarta 2021). *Journal of Social Research*. 1(10). 1164-1176.
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods*. London: Butterworth-Heinemann.
- Maharza, C., & Rahmah, N. F. (2020). Pengaruh Number of Neighbors Terhadap Perhitungan Ordinary Kriging Dan Cokriging, In *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XV Tahun 2020 (ReTII)* (pp. 170-176). Yogyakarta: Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.
- Maulana, I. A., Prasetyowati, S. S., & Sibaroni, Y. (2022). Prediction of Rainfall Classification of Java Island with ANN-Feature Expansion and Ordinary Kriging. *Jurnal Media Informatika Budidarma*. 6(4). 1988-1997.
- Nelvidawati, N. (2022). Analisa Deskriptif Pengelompokan Data Konsentrasi PM 2.5 Berdasarkan Hari pada Titik Pemantauan Bundaran Hi Jakarta untuk Data Februari-Oktobre 2021. *Journal of Infrastructural in Civil Engineering*. 3(1), 42-28.

- Nelvidawati, N., & Roza, A. (2022). Perbandingan Nilai Ispu Harian di 5 Titik Pemantauan Udara DKI Jakarta pada Saat Lockdown Maret 2020. *Construction And Material Journal*. 4(1). 23-30.
- Nugraha, A. P., Irwan, A. G., dan Nugraha, L. (2020). Perbandingan Geostatistik Metode Kriging dan Co-kriging Menggunakan Estimasi Point Kriging. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XV Tahun 2020 (ReTII)*. 177- 181.
- Prabowo, K., & Muslim, B. (2018). *Penyehatan udara*. Jakarta: Badan Pengembangan dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan.
- Rifai, M. H., Rachmat, H., & Prasetyo, M. D. (2022). Pemanfaatan Internet of Things (IOT) untuk Rancang Bangun UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Alat Pengukur Polutan CO dan CO₂ di Pabrik Manufaktur Menggunakan ESP-NOW, *eProceedings of Engineering*. 8(5). 7096-7106.
- Safitri, S. A. D., Putri, F. A., Ardhani, B. A., & Chamidah, N. (2021). Co-Kriging Method Performance in Estimating Number of COVID-19 Positive Confirmed Cases in East Java Province, In *AIP Conference Proceedings*, 2329 (1), 060034 1 – 060034 10.
- Sasmita, A., Reza, M., Elystia, S., & Adriana, S. (2022). Analisis Pengaruh Kecepatan dan Volume Kendaraan terhadap Emisi dan Konsentrasi Karbon Monoksida di Jalan Jenderal Sudirman, Kota Pekanbaru. *Jurnal Teknik Sipil*. 16(4). 269-279.
- Simarmata, M. M. T., R., Asmuliani, R., Pasanda, O. S. R., Marzuki, I., Soputra, D., Sudasman, F. H., Mohamad, E., Syahrir, M., Hardiyanti, S. A., Mahyati, Triastuti, & Armus, R. (2022). *Pengantar Pencemaran Udara*. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Solihah, K. I., Martono, D. N., & Haryanto, B. (2021). Identifying the Best Spatial Interpolation Method for Estimating Spatial Distribution of PM 2.5 in Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 893(1). 1-11.
- Sudaryanto, S., Prasetyawati, N. D., & Sinaga, E. (2022). Sosialisasi Dampak Polusi Udara terhadap Gangguan Kesehatan Kenyamanan dan Lingkungan. *Midiwifery Science Session*. 1(1). 8-17.
- Talithania, D., & Yani, A. (2020). Kualitas Udara Selama Perjalanan di Kapal Motor Camara Nusantara 3. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*. 8(2). 61-66.