

Analisis Spasial Kualitas Air Sungai Winongo menggunakan Metode *Universal Kriging*

Harsyta Annindiya¹, Muhammad Irsyadul 'Ibad¹, Najla Nashirah¹, Indira Ihnu Briliant¹
Ezra Putranda Setiawan*¹

¹ Program Studi S1 Statistika, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta
Jl. Colombo 1, Caturtunggal, Depok, Sleman 55281

*Korespondensi penulis : ezra.ps@uny.ac.id

Submitted : 15 Maret 2024

Accepted : 1 Juli 2025

Published : 24 Juli 2025

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menerapkan *universal kriging* guna memetakan dan menganalisis kualitas air di Sungai Winongo dengan parameter fisis berupa *Total Dissolve Solid*, serta parameter biokimia berupa Bakteri *Coliform* dan *Biological Oxygen Demand*. Penerapan dilakukan dengan data sekunder yang dikumpulkan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta pada bulan Desember 2021 di lima titik pantau yaitu Bener, Peta, Serangan, Taman Sari, dan Prapanca. Metode *Universal Kriging* digunakan dalam penelitian ini karena adanya trend pada data parameter yang digunakan dan tidak memenuhi asumsi stasioner. Hasil interpolasi dengan metode Gaussian dan Exponential antara lain bahwa Kawasan sungai yang memiliki *Biological Oxygen Demand* paling tinggi adalah di sekitar titik pantau Peta, tercemar *Total Dissolve Solid* paling tinggi di sekitar titik pantau Prapanca serta tercemar Bakteri *Coliform* paling tinggi di sekitar titik pantau Prapanca dan Taman Sari.

Kata Kunci: *Universal Kriging*, Winongo, Interpolasi, Semivariogram, Pencemaran Air.

Abstract

This research aims to analyze water quality in the Winongo River through Kriging with physical parameters in the form of Total Dissolve Solid, as well as biochemical parameters in the form of Coliform Bacteria and Biological Oxygen Demand. Samples were taken in December 2021 at five monitoring points, namely Bener, Peta, Serangan, Taman Sari, and Prapanca. The Universal Kriging method is used in this research because there is a trend in the parameter data used and did not meet the stationary assumption. The results of interpolation using the Gaussian and Exponential methods show that the river area that has the highest Biological Oxygen Demand is near the Peta point, the highest Total Dissolve Solid pollution is near the Prapanca monitoring point, while the highest Coliform Bacteria contamination is between the Prapanca and Taman Sari monitoring points.

Keywords: *Universal Kriging, Winongo, Interpolation, Semivariogram, Water Pollution*

1. Pendahuluan

Air merupakan salah satu kebutuhan terpenting bagi setiap manusia. Meskipun jumlahnya di alam hampir tidak terbatas, tidak semua air di alam dapat dipergunakan oleh manusia. Manusia membutuhkan air yang memenuhi syarat tertentu untuk diminum dan digunakan untuk memasak [1]. Tanpa tersedianya air minum, manusia akan mengalami kesulitan untuk bertahan hidup.

Manusia memanfaatkan air dari berbagai sumber, baik air tanah maupun air yang mengalir di sungai. Di Indonesia, hingga saat ini air sungai masih dimanfaatkan oleh Masyarakat untuk keperluan mandi, cuci, kakus [2] [3], irigasi, tambak [4], hingga penggerak turbin pembangkit listrik [5]. Agar dapat dipergunakan untuk keperluan tersebut, air sungai perlu dijaga agar tidak terjadi pencemaran.

Dewasa ini, sungai-sungai yang melewati kota besar umumnya telah tercemar oleh limbah dari industri, rumah tangga, perikanan, maupun pertanian [6]. Banyaknya lokasi permukiman yang berada di sekitar bantaran sungai turut berdampak pada pencemaran sungai [7]. Di samping itu, pencemaran sungai juga dapat berdampak pada menurunnya jumlah biota sungai serta menurunnya kualitas air di bagian hilir yang kemudian bermuara di laut [8].

Salah satu sungai yang mengalir di Kota Yogyakarta adalah Sungai Winongo. Sungai Winongo dengan panjang 43,75 km ini juga mengalir melintasi Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul [9]. Ketiga wilayah tersebut mengalami perkembangan pesat, meliputi pertambahan penduduk, perubahan penggunaan lahan dan meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan [9]. Hal ini diduga berdampak pada terjadinya pencemaran air di Sungai Winongo. Yogafanny [8] menunjukkan bahwa aktivitas manusia yang menumpuk sampah dan membuang limbah di Sungai Winongo kawasan Tegalrejo berdampak pada tingginya cemaran di lokasi tersebut. Pencemaran pada Sungai Winongo juga ditunjukkan dengan rata-rata konsentrasi *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang melebihi baku mutu kelas II sebesar 4,45 mg/L dan konsentrasi DO sebesar 5,38 mg/L [10]. Penelitian Azzuhra [11] tentang pemodelan kualitas air permukaan sungai pada parameter *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) menggunakan software Qual2kw (studi kasus: Sungai Winongo Yogyakarta) menunjukkan bahwa Sungai Winongo tercemar karena memiliki rerata konsentrasi TSS dan COD melebihi baku mutu air kelas II, dengan nilai 897,9 mg/L TSS dan 53,78 mg/L COD. Fadlillah *et al.* [12] menunjukkan tingginya cemaran logam berat di Sungai Winongo yang perlu mendapat perhatian dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air sungai merupakan hal yang sangat penting.

Pemantauan kualitas air sungai merupakan kegiatan yang berbiaya relatif besar, mengingat diperlukannya proses fisika-kimia untuk menganalisis adanya berbagai bahan pencemar sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku. Mengacu pada Peraturan Gubernur DIY nomor 20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi DIY menunjuk adanya lebih dari 10 parameter pencemaran sungai [13]. Biaya analisis tersebut dapat menjadi semakin besar manakala banyaknya titik pengamatan dan frekuensi pengamatan ditambah guna memperoleh data yang semakin rinci. Padahal, data kondisi pencemaran sungai memiliki arti penting sebagai acuan dalam pemanfaatan air sungai maupun dalam penertiban aktivitas masyarakat di bantaran sungai.

Dalam statistika, data pencemaran di lokasi tertentu dapat dipandang sebagai suatu data spasial. Oleh karena itu, dapat dilakukan analisis interpolasi berdasarkan metode statistik spasial. Analisis interpolasi ini memungkinkan diperolehnya data pencemaran di titik-titik sekitar lokasi pengamatan. Sebagai contoh, Fathurrachman [14] menerapkan metode interpolasi spasial *universal kriging* guna memprediksi curah hujan di Malang Raya berdasarkan data pada sejumlah pos hujan. Rozalia *et al.* [15] juga menggunakan metode kriging untuk menduga pencemaran udara oleh gas NO₂ di Kota Semarang. Metode kriging juga telah digunakan untuk mengevaluasi kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) di Kali Surabaya [16]. Dengan metode ini, kondisi pencemaran sungai di luar titik pantau dapat diprediksi.

Hingga saat ini, belum dijumpai analisis data *geospasial* yang melibatkan lebih dari satu variabel terkait pencemaran air sungai. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi penerapan metode kriging guna memperoleh estimasi dan melakukan interpolasi secara spasial terkait pencemaran air yang melibatkan beberapa variabel. Terdapat tiga variabel yang hendak dianalisis dalam penelitian ini yakni kebutuhan oksigen biologis (*Biological Oxygen Demand*, BOD), *Total Coliform*, serta total zat padat terlarut (*Total Dissolve Solid*, TDS) [17], [18], [19]. Sebagai lokus, dipilih Sungai Winongo di bagian yang mengalir di Kota Yogyakarta. Dilakukannya analisis pada data ini diharapkan dapat memberi gambaran jelas mengenai penerapan metode *kriging* dalam menganalisis data pencemaran air sungai, khususnya di Kota Yogyakarta.

2. Metode Penelitian

2.1 Sumber dan Perolehan Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data sekunder. Data yang digunakan adalah data kualitas kebersihan air di Sungai Winongo di Kota Yogyakarta dengan parameternya adalah *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Total Dissolve Solid* (TDS), dan *Total Coliform* pada tanggal 8 Desember 2021. Data tersebut diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta melalui situs <https://lingkunganhidup.jogjakota.go.id/page/index/basis-data-lingkungan-hidup>. Data diambil dari lima titik lokasi Sungai Winongo di Kota Yogyakarta, sebagaimana terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Kandungan TDS, BOD dan Bakteri *Coliform* di Sungai Winongo

No	Titik Pantau	X	Y	TDS (mg/L)	BOD (mg/L)	<i>Coliform</i> (Jml/mL)
1	Bener	07°46'22.59"S	110°21'9.37"E	144	1,0	330.000
2	Peta	07°47'23.57"S	110°21'24.26"E	162	1,4	1.400.000
3	Serangan	07°48'03.22"S	110°21'16.99"E	167	1,2	700.000
4	Taman Sari	07°48'29.14"S	110°21'13.23"E	172	0,8	2.800.000
5	Prapanca	07°49'3.05"S	110°21'3.87"E	179	0,8	2.200.000

Secara kewilayahan, titik pantau Bener merupakan titik yang paling utara, terletak di kecamatan Tegalrejo. Adapun titik pantau yang paling selatan adalah Prapanca, terletak di Kecamatan Mantriweron.

2.2 Metode Analisis Data

Kriging merupakan suatu metode analisis data geostatistika yang digunakan untuk menduga besarnya nilai yang mewakili suatu titik yang tidak tersampel berdasarkan titik tersampel di sekitarnya dengan menggunakan model struktural semivariogram [15]. Banyak metode yang dapat digunakan dalam metode *Kriging*, namun berdasarkan diketahui atau tidaknya mean, *Kriging* dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu *Simple Kriging*, *Ordinary Kriging*, dan *Universal Kriging* [20].

- a. *Kriging sederhana (simple kriging)*
Simple Kriging merupakan metode *kriging* dengan asumsi bahwa rata-rata (mean) dari populasi telah diketahui dan bernilai konstan. Pengolahan dari metode *Simple kriging* adalah dengan cara data spasial yang akan diduga dipartisi menjadi beberapa bagian.
- b. *Kriging biasa (ordinary kriging)*
Ordinary kriging merupakan metode yang didasarkan pada asumsi bahwa rata-rata (mean) dari populasi tidak diketahui, dan pada data spasial tersebut tidak mengandung trend. Selain tidak mengandung trend, data yang digunakan juga tidak mengandung pencilan.
- c. *Kriging universal (universal kriging)*
Universal kriging merupakan metode *kriging* yang dapat diaplikasikan pada data spasial yang mengandung trend atau data yang tidak stasioner.

Penelitian ini dilakukan dengan metode *universal kriging*, yang disebut juga "*kriging with a trend*" [14]. Asumsi-asumsi yang harus dipenuhi untuk dianalisis dengan metode ini yaitu memiliki sifat tidak stasioner orde dua dalam rata-rata, dan residual dari taksiran berdistribusi normal serta memenuhi asumsi stasioner orde dua [21]. Tahapan *Universal Kriging* adalah sebagai berikut.

- a. Melakukan persiapan peta lokasi data spasial hasil digitasi.
- b. Melakukan uji normalitas pada tiap parameter. Uji normalitas dilakukan dengan prosedur Shapiro-Wilk[22], yakni dengan hipotesis
H₀: data berasal dari populasi yang berdistribusi normal
H₁: data tidak berasal dari populasi yang berdistribusi normal
Kriteria yang digunakan adalah tolak H₀ bila nilai Sig. < tingkat signifikansi, yang ditetapkan sebesar 5%.
- c. Mengidentifikasi stasioneritas dengan memplotkan data pada koordinatnya yaitu koordinat X dan koordinat Y. Jika data tidak stasioner maka dapat dilakukan menggunakan metode *Universal Kriging* dan jika data stasioner maka tidak dapat dianalisis menggunakan metode *Universal Kriging*.
- d. Membentuk model *semivariogram* eksperimental dengan rumus

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(s_i) - Z(s_i + h))^2 \quad (1)$$

Dalam rumus di atas, $N(h)$ merupakan banyaknya pasangan titik yang memiliki jarak yang sama, distance (h) adalah jaraknya, dan $\gamma(h)$ merupakan nilai semivariogram eksperimental yang didapatkan pada jarak tersebut. Selanjutnya dapat ditentukan nilai *nugget effect* yakni nilai semivariogram ketika jarak interval data mendekati nol, nilai *sill* yakni nilai data yang menyebabkan semivariogram mencapai maksimum, serta nilai *range* atau jarak maksimum yang masih memuat korelasi antar data.

- e. Memodelkan *semivariogram* teoritis untuk data yang digunakan dengan metode *spherical*, *exponential*, dan *gaussian*.
- f. Menentukan model *semivariogram* teoritis terbaik dengan menggunakan *cross validation* pada hasil interpolasi yang menggunakan *semivariogram spherical*, *eksponensial*, dan *gaussian* untuk interpolasi *Universal Kriging*.
- g. Membuat peta prediksi hasil interpolasi menggunakan *Universal Kriging* dengan *semivariogram* teoritis terbaik yang telah dipilih.

Rangkaian prosedur di atas dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel* serta R [23] dengan bantuan Rstudio [24]. Adapun pustaka yang dipergunakan antara lain *kriging* [25] dan *rlikkriging* [26].

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini mula-mula disajikan statistik deskriptif dari data, diikuti dengan hasil uji asumsi, hasil analisis *kriging*, serta pembahasan.

3.1 Deskripsi Data

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini memuat informasi terkait koordinat lokasi pemantauan kualitas air di Sungai Winongo di Kota Yogyakarta. Indikator kualitas air yang digunakan antara lain *Biological Oxygen Demand* (BOD), Bakteri *Coliform*, dan *Total Dissolve Solid* (TDS). Tabel 2 memuat statistik deskriptif ketiga parameter tersebut pada lima titik lokasi dengan waktu *sampling* yaitu Bulan Desember pada tahun 2021.

Tabel 2. Statistik Deskriptif TDS, BOD, dan *Coliform* di Sungai Winongo

	Desember 2021		
	BOD (mg/L)	<i>Coliform</i> (Jml/mL)	TDS (mg/L)
Banyak Data	5	5	5
Mean	1	1.486.000	165
Variansi	0,068	1049480	174,7
Standar Deviasi	0,261	1.024.440	13,22
Median	1	1.400.000	167
Minimum	0,8	330.000	144
Maksimum	1,4	2.800.000	179

Tabel 2 menunjukkan bahwa rata-rata kandungan BOD di lima titik pantau adalah 1 mg/L dengan standard deviasi sebesar 0,261. Mengacu Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi DIY, baku mutu kandungan BOD adalah 2 mg/L [13]. Dengan demikian, nilai BOD di Sungai Winongo di kota Yogyakarta masih berada pada batas aman.

Dari Tabel 2, diketahui pula bahwa rata-rata kandungan *Coliform* di lima titik pantau adalah 1.486 Jml/mL dengan standard deviasi sebesar 1.024,44. Hal ini menunjukkan bahwa *Coliform* di Sungai Winongo telah melebihi batas kandungan yang tercantum pada Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi DIY sebesar 1.000 Jml/mL [13]. Parameter terakhir adalah TDS di lima titik pantau dengan rata-rata sebesar 165 mg/L dan standard deviasi sebesar 13,22. Hal ini menunjukkan bahwa air di Sungai Winongo masih memenuhi baku

mutu kandungan TDS, yang dalam Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi DIY ditetapkan sebesar 1.000 mg/L [13].

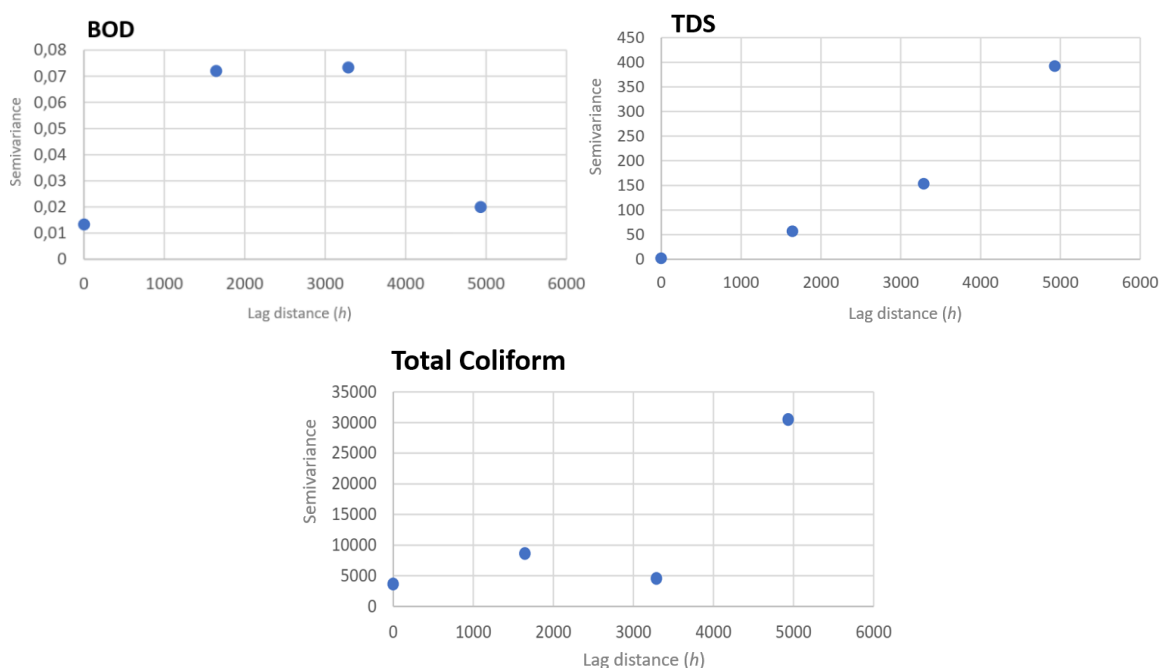
3.2 Hasil Uji Asumsi

Uji asumsi normalitas terhadap masing-masing variabel dilakukan dengan metode Uji Shapiro-Wilk. Untuk data BOD, didapatkan nilai Sig. sebesar 0,421 > 0,05 sehingga H_0 tidak ditolak dan dapat diasumsikan bahwa data BOD berdistribusi normal. Pada data TDS, didapatkan nilai Sig. sebesar 0,69 > 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa data TDS berdistribusi normal. Adapun pada data Total *Coliform*, didapatkan nilai Sig. sebesar 0,783 > 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa data Total *Coliform* berdistribusi normal. Karena data untuk ketiga parameter memenuhi asumsi normalitas, analisis dapat dilakukan untuk masing-masing data.

Hasil uji stasioneritas berupa plot masing-masing data terhadap sumbu X dan sumbu Y menunjukkan bahwa data BOD memiliki tren menurun, sedangkan data TDS dan Total *Coliform* memiliki tren menaik. Dengan demikian, ketiga data bersifat tidak stasioner dan *universal kriging* dapat dipergunakan.

3.3 Hasil Semivariogram Eksperimental

Berdasarkan data pada Tabel 1, dibuat semivariogram eksperimental menggunakan rumus (1) di atas. Hasil yang diperoleh disajikan pada Gambar 1.



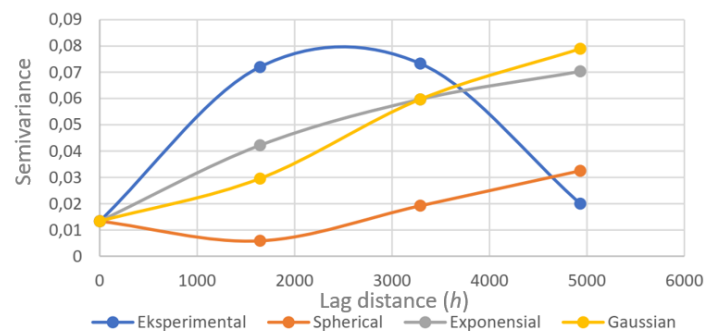
Gambar 1. Hasil Semivariogram Eksperimental pada variabel BOD, TDS, dan Total *Coliform*.

Berdasarkan Gambar 1, untuk variabel BOD didapatkan nilai *nugget effect* sebesar 0,0133 serta nilai *sill* sebesar 0,0733 dengan *range* sejauh 3.288. Untuk variabel TDS, didapatkan nilai *nugget effect* sebesar 2,0833, nilai *sill* sebesar 392, dan *range* sejauh 4.932. Adapun untuk variabel Total *Coliform*, didapat nilai *nugget effect* sebesar 3675 dan nilai *sill*

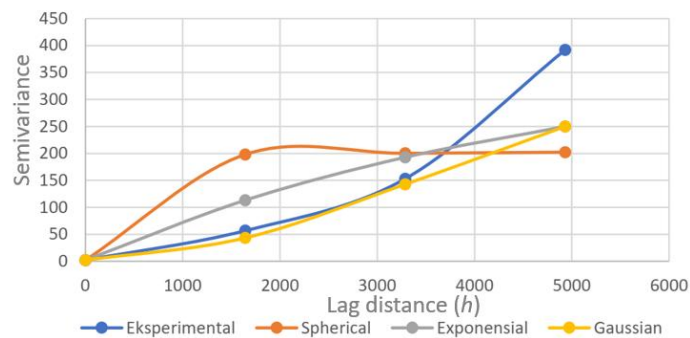
sebesar 30.504,5 dengan range sejauh 4.932. Semivariogram eksperimental ini selanjutnya akan digunakan untuk menentukan semivariogram teoretis.

3.4 Hasil Semivariogram Teoretis

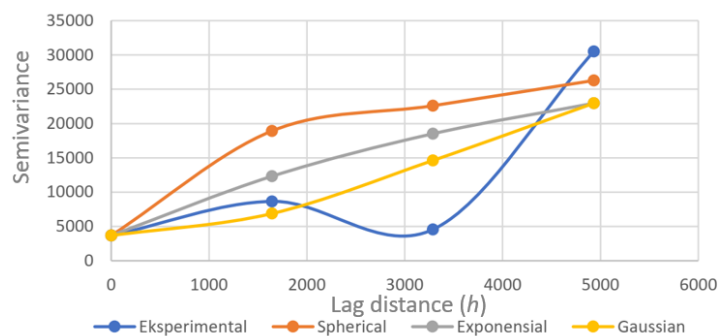
Pada tahap ini akan dicocokkan semivariogram eksperimental yang sudah didapat pada subbab sebelumnya dengan model semivariogram teoretis. Model semivariogram teoretis yang baik adalah model yang dapat mewakili semivariogram eksperimentalnya. Gambar 2-4 berturut-turut menunjukkan hasil pengepasan semivariogram berdasarkan data BOD, TDS, dan Total *Coliform*.



Gambar 2. Grafik Hasil Pengepasan Semivariogram untuk variabel BOD



Gambar 3. Grafik Hasil Pengepasan Semivariogram untuk variabel TDS



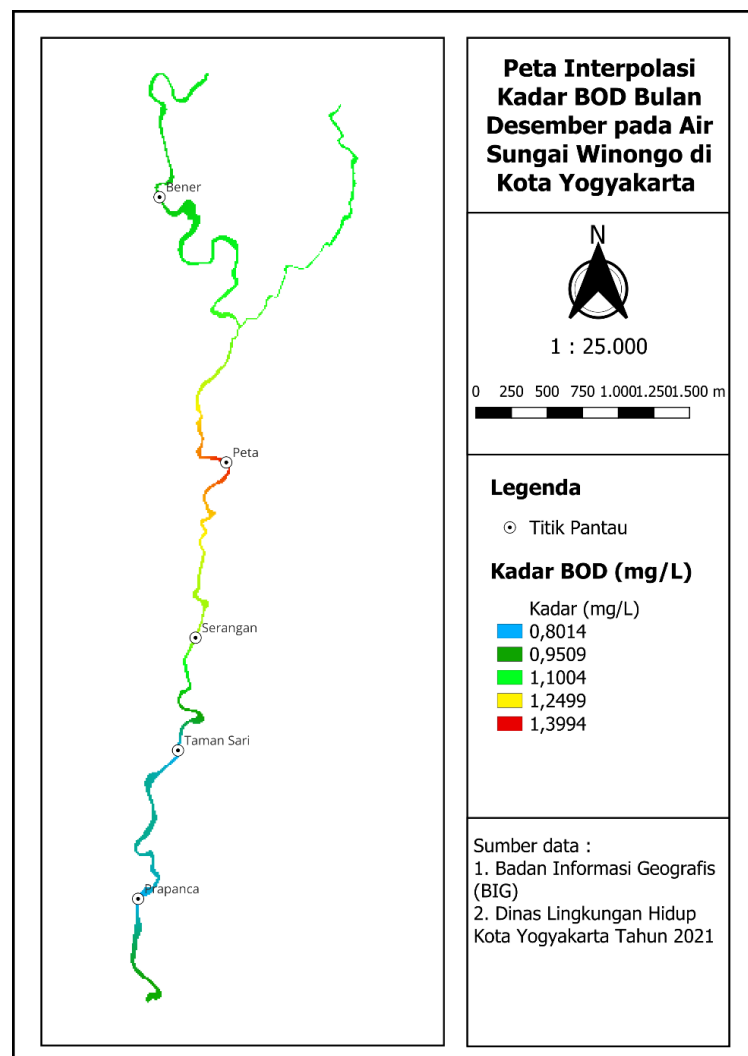
Gambar 4. Grafik Hasil Pengepasan Semivariogram untuk variabel Total *Coliform*

Berdasarkan hasil pengepasan, dengan membandingkan Gambar 1 dan Gambar 2 terlihat bahwa model semivariogram teoretis yang dapat mewakili plot semivariogram eksperimental parameter BOD adalah bentuk *eksponensial*, dengan nilai *nugget effect*

sebesar 0,0133, *sill* sebesar 0,0733, dan *range* sejauh 3288. Selanjutnya, dari Gambar 3, diketahui bahwa semivariogram teoritis yang dapat mewakili plot semivariogram eksperimental parameter TDS adalah semivariogram *Gaussian*, dengan nilai *nugget effect* sebesar 2,0833, nilai *sill* sebesar 392, dan *range* sebesar 4932. Untuk *Total Coliform*, Gambar 4 menunjukkan bahwa model semivariogram teoritis yang paling sesuai adalah semivariogram *Gaussian*, dengan *nugget effect* sebesar 3675, *sill* sebesar 30504,5, dan *range* sejauh 4932. Pemilihan semivariogram teoritis ini juga didukung oleh hasil *cross validation* yang memiliki *root mean square error* (RMSE) terkecil.

3.5 Interpolasi dan Pembahasan

Berdasarkan hasil estimasi parameter semivariogram teoretis, dilakukan interpolasi kadar BOD, TDS, dan total *Coliform* di Sungai Winongo khususnya yang mengalir di wilayah Kota Yogyakarta. Hasil interpolasi disajikan dalam bentuk peta berikut.

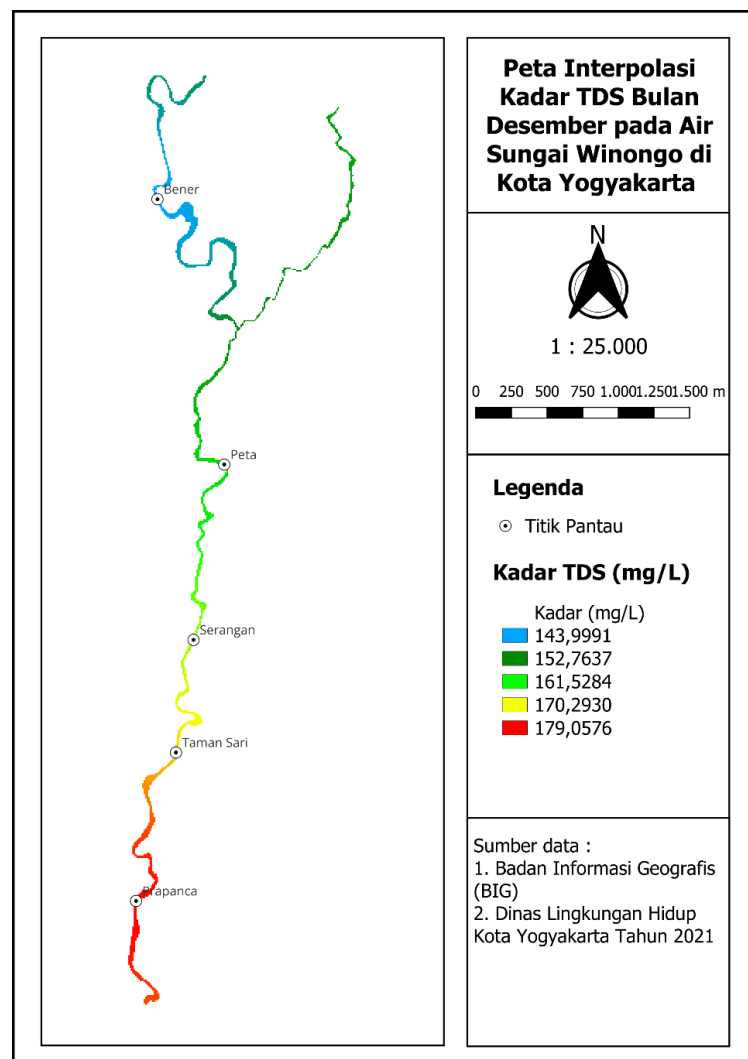


Gambar 5. Hasil Interpolasi BOD di Sungai Winongo

Pada Gambar 5, hasil interpolasi BOD di Sungai Winongo dengan semivariogram eksponensial dapat dikelompokkan menjadi lima kelas. Berdasarkan hasil interpolasi tersebut, diketahui bahwa kelas paling tinggi dari hasil interpolasi kadar BOD adalah

sebesar 1,3994mg/L dan kelas paling rendah adalah sebesar 0,8014mg/L. Lebih lanjut, terlihat bahwa kadar BOD tertinggi ada di sekitar titik pantau Peta, sedangkan kadar BOD terendah dijumpai di antara titik pantau Tamansari hingga titik pantau Prapanca. Menarik bahwa titik pantau Bener yang berada di sebelah utara titik pantau Peta juga memiliki BOD yang relatif rendah.

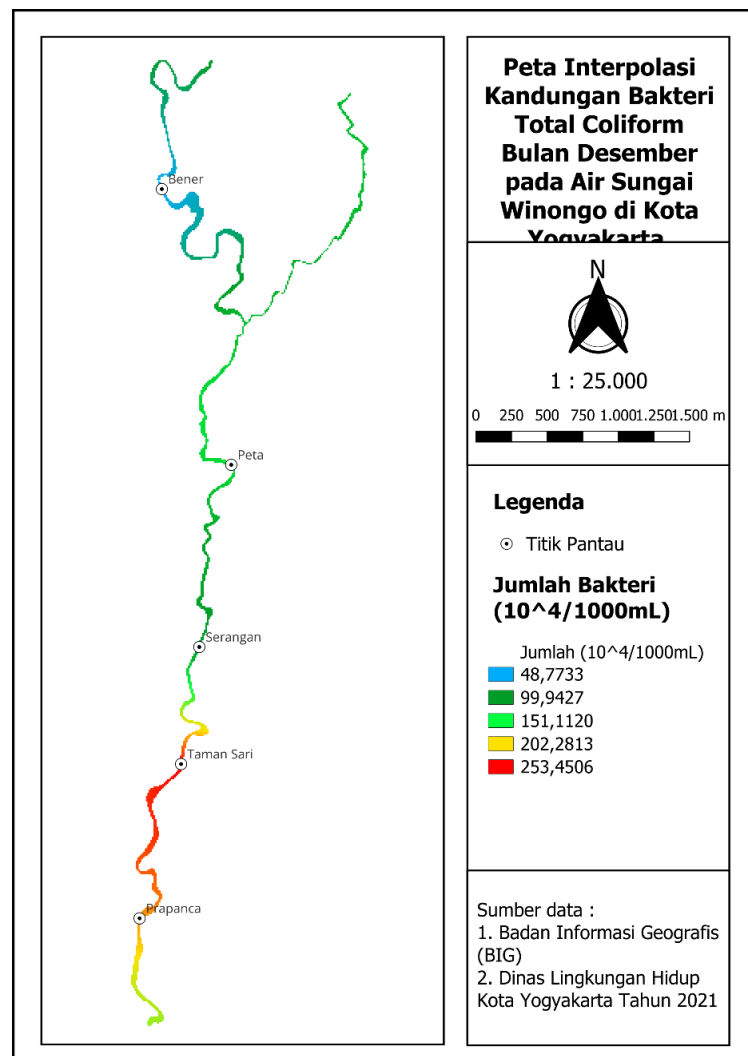
Pada Gambar 6, hasil interpolasi TDS di Sungai Winongo yang diperoleh dengan semivariogram *Gaussian* dapat dikelompokkan menjadi lima kelas. Berdasarkan hasil interpolasi ini, kelas paling tinggi memiliki kadar TDS sebesar 179,0576mg/L dan kelas paling rendah adalah 143,9991mg/L. Sepanjang aliran Sungai Winongo di Kota Yogyakarta, TDS terendah diestimasi berada di sekitar titik pantau Bener, sedangkan TDS tertinggi diperkirakan dijumpai di sekitar titik pantau Prapanca. Peningkatan TDS diperkirakan terjadi di bagian selatan titik pantau Bener dan titik pantau Serangan.



Gambar 6. Hasil Interpolasi TDS di Sungai Winongo

Berdasarkan Gambar 7, hasil interpolasi dengan semivariogram Gaussian untuk data Total *Coliform* menghasilkan lima kelas. Lebih lanjut, kelas paling rendah dari hasil interpolasi kadar Total *Coliform* adalah 487.733/1000mL dan kelas paling tinggi adalah

2.534.506/1000mL. Titik dengan total *Coliform* terendah dan tertinggi berturut-turut diperkirakan berada di sekitar titik pantau Bener dan sebelah selatan Tamansari.



Gambar 7. Hasil Interpolasi Total *Coliform* di Sungai Winongo

Berdasarkan hasil analisis di atas, dapat dipantau tingkat pencemaran air Sungai Winongo yang mengalir di kota Yogyakarta, baik melalui parameter biologis (*Total Coliform*) maupun parameter kimia. Cemaran relatif tinggi dijumpai di selatan titik pantau Tamansari hingga Prapanca, yang ditandai dengan tingginya jumlah bakteri serta zat padat terlarut (TDS). Kawasan sekitar titik pantau Bener juga perlu menjadi perhatian mengingat tingginya kebutuhan oksigen terlarut (*biochemical oxygen demand*, BOD) pada air sungai di kawasan tersebut meskipun masih berada dalam batas normal.

Dilakukannya analisis geostatistik dengan metode *kriging* menghasilkan estimasi nilai parameter cemaran air pada titik-titik di luar titik pemantauan. Cara ini bermanfaat bagi pihak-pihak yang memerlukan pemetaan kualitas air sungai. Selain di Sungai Winogo, pemetaan kualitas air dengan metode *kriging* juga telah dilakukan di Kali Surabaya [16] Sungai Mahakam [27], Sungai Welang, Sungai Gombong, dan Sungai Rejoso [28], serta Sungai Meuse [29]. Pada kenampakan alam berupa sungai, analisis

kriging juga dapat dilakukan untuk parameter-parameter kualitas air selain BOD, TDS, dan *total coliform*, misalnya tingkat cemaran logam berat [30], [31] dan cemaran mikroplastik [32], [33]. Status kedua cemaran ini sangat penting bagi sungai-sungai yang merupakan habitat ikan dan organisme perairan lainnya, mengingat logam berat dan mikroplastik dapat terakumulasi dalam tubuh ikan, masuk ke tubuh manusia, dan menimbulkan berbagai penyakit [34]. Hasil pemetaan cemaran ini juga dapat dijadikan dasar pengambilan kebijakan terkait pengendalian kualitas air sungai [35].

Penelitian ini memiliki keterbatasan, di antaranya bahwa data tidak dikumpulkan langsung oleh peneliti sehingga jumlah sampel yang dianalisis terbatas. Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan agar pengumpulan data di lokasi dilakukan langsung oleh peneliti, sehingga diperoleh titik sampel yang lebih banyak. Pengukuran juga dapat dilakukan secara berkala pada musim yang berbeda, sehingga tingkat pencemaran sungai Winongo dapat dipantau secara terus-menerus.

4. Kesimpulan

Berdasarkan uraian pada bagian di atas, dapat disimpulkan bahwa metode kriging dapat dipergunakan untuk melakukan interpolasi guna menentukan kualitas air sungai berdasarkan data yang dikumpulkan dari sejumlah titik pantau. Lebih lanjut, adanya pola non stasioner pada data *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Total Dissolved Solid* (TDS), serta *Total Coliform* menyebabkan *universal kriging* lebih sesuai digunakan untuk memodelkan ketiga variabel tersebut. Data empiris menunjukkan bahwa semivariogram eksponensial merupakan model semivariogram teoritis yang paling sesuai untuk menginterpolasi parameter BOD sebagai indikator pencemaran air Sungai Winongo di Kota Yogyakarta. Adapun untuk parameter TDS dan Bakteri Coliform, interpolasi paling sesuai dilakukan dengan model semivariogram Gaussian. Hasil interpolasi dapat disajikan dalam bentuk peta guna memvisualisasikan nilai masing-masing variabel sesuai dengan lokasinya.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami haturkan kepada para mitra bestari Jurnal Sains Matematika dan Statistika atas saran-saran yang diberikan guna perbaikan artikel ini, serta kepada Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta yang secara konsisten menyediakan data kualitas air sungai sebagai informasi publik.

Daftar Pustaka

- [1] N. F. Andini, "Uji Kualitas Fisik Air Bersih pada Sarana Air Bersih Program Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (PAMSIMAS) Nagari Cupak Kabupaten Solok," *Jurnal Kepemimpinan dan Pengurusan Sekolah*, vol. 2, no. 1, pp. 9–10, 2017.
- [2] S. Noviana, D. Arisanty, and E. Normelani, "Pemanfaatan Air Sungai Kanal Tamban untuk Kebutuhan Air Bersih Masyarakat di Kecamatan Tamban

- Kabupaten Barito Kuala," *JPG (Jurnal Pendidikan Geografi*, vol. 5, no. 1, pp. 33–43, 2018.
- [3] Z. Zulyanti, R. Angela, and W. Cahyaningrum, "Analisis Pemanfaatan Air Sungai Bagi Rumah Tangga di Bantaran Sungai Melawi Desa Sungai Ana Kabupaten Sintang," *Geo Khatulistiwa: Jurnal Pendidikan Geografi Dan Pariwisata*, vol. 2, no. 1, pp. 37–53, 2022.
 - [4] M. Machairiyah, Z. Nasution, and B. Slamet, "Pengaruh pemanfaatan lahan terhadap kualitas air Sungai Percut dengan metode Indeks Pencemaran (IP)," *Limnotek: perairan darat tropis di Indonesia*, vol. 27, no. 1, pp. 13–25, 2020.
 - [5] H. Prasetijo, W. H. Purnomo, S. Suroso, W. Winasis, and M. I. Zulfa, "Pemanfaatan Potensi Daya Listrik Dan Instalasi Turbin-Generator Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Indonesia*, vol. 3, no. 4, pp. 565–574, 2023.
 - [6] N. Marlina, H. Hudori, and R. Hafidh, "Pengaruh Kekasaran Saluran dan Suhu Air Sungai pada Parameter Kualitas Air COD, TSS di Sungai Winongo Menggunakan Software QUAL2Kw," *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, vol. 9, no. 2, pp. 122–133, 2017.
 - [7] W. Brontowiyono, K. Kasam, L. Ribut, and A. Ike, "Strategi penurunan pencemaran limbah domestik di Sungai Code DIY," *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, vol. 5, no. 1, pp. 36–47, 2013.
 - [8] E. Yogafanny, "Pengaruh aktifitas warga di sempadan sungai terhadap kualitas air Sungai Winongo," *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, vol. 7, no. 1, pp. 29–40, 2015.
 - [9] D. I. Permana and M. Widyastuti, "Studi perubahan kualitas air Sungai Winongo tahun 2003 dan 2012," *Jurnal Bumi Indonesia*, vol. 2, no. 2, 2013.
 - [10] R. Rahmi, "Pemodelan Kualitas Air Sungai Berdasarkan Parameter DO Dan BOD Menggunakan Software Qual2kw (Studi Kasus: Sungai Winongo, Provinsi DIY)," Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2022.
 - [11] H. I. Azzuhra, "Pemodelan Kualitas Air Permukaan Sungai Pada Parameter TSS Dan COD Menggunakan Software Qual2kw (Studi Kasus: Sungai Winongo Yogyakarta)," Yogyakarta, 2022.
 - [12] L. N. Fadlillah, S. Utami, A. A. Rachmawati, G. D. Jayanto, and M. Widyastuti, "Ecological risk and source identifications of heavy metals contamination in the water and surface sediments from anthropogenic impacts of urban river, Indonesia," *Heliyon*, vol. 9, no. 4, p. 15485, 2023.
 - [13] Tim Penyusun, *Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta nomor 20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi DIY*.
 - [14] B. Fathurrachman, "Penerapan Metode Interpolasi Spasial Universal Kriging Menggunakan Semivariogram Spherical Dan Pentaspherical (Studi Pada Data Curah Hujan Bulan Maret 2017 di Malang Raya)," Universitas Brawijaya, 2018.
 - [15] G. Rozalia, H. Yasin, and D. Ispriyanti, "Penerapan metode ordinary kriging pada pendugaan kadar NO₂ di udara (studi kasus: pencemaran udara di kota semarang," *Jurnal Gaussian*, vol. 5, no. 1, pp. 113–121, 2016.
 - [16] A. Prahutama, "Estimasi kandungan DO (Dissolved Oxygen) di Kali Surabaya dengan metode kriging," *Jurnal Statistika Universitas Muhammadiyah Semarang*, vol. 1, no. 2, pp. 9–14, 2013.

- [17] W. Atima, "BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah," *BIOSEL (Biology Science and Education): Jurnal Penelitian Science dan Pendidikan*, vol. 4, no. 1, pp. 83–93, 2015.
- [18] M. Sari and M. Huljana, "Analisis bau, warna, TDS, pH, dan salinitas air sumur gali di tempat pembuangan akhir," *ALKIMIA: Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2019.
- [19] L. Arsyina, B. Wispriyono, I. Ardiansyah, and L. D. Pratiwi, "Hubungan sumber air minum dengan kandungan total coliform dalam air minum rumah tangga," *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, vol. 14, no. 2, pp. 18–23, 2019.
- [20] N. A. C. Cressie, *Statistics For Spatial Data*. New York: John Wiley and Sons, Inc, 1993.
- [21] S. Permatasari, "Interpolasi daerah pencemaran Menggunakan metode universal kriging Pada data spasial indeks pencemaran Air tanah dangkal di wilayah Provinsi DKI Jakarta," UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2013.
- [22] W. J. Conover, *Practical nonparametric statistics*, 3rd ed. John Wiley & Sons, 1999.
- [23] R Core Team, "R: a language and environment for statistical computing," 2024, *R foundation for statistical computing*, Vienna, Austria: 4.4.0.
- [24] Posit Team, "RStudio: Integrated Development Environment for R," 2023, *Posit Software, PBC, Boston, MA*. [Online]. Available: <http://www.posit.co/>.
- [25] O. E. Olmedo, "kriging: Ordinary Kriging," 2022, CRAN: 1.2. [Online]. Available: <https://CRAN.R-project.org/package=kriging>.
- [26] Y. Richet, P. Havé, and Y. Deville, "`_rlibkriging_` : Kriging Models using the 'libKriging' Library," 2025, CRAN: 0.9-1. [Online]. Available: <https://CRAN.R-project.org/>
- [27] E. P. Putra, R. Goejantoro, and S. Suyitno, "Penaksiran Kandungan Klorida di Sungai Mahakam Wilayah Samarinda Tahun 2017 dengan Metode Cokriging," *EKSPONENSIAL*, vol. 11, no. 2, pp. 175–180, 2021.
- [28] A. Darmawan, E. Y. Herawati, A. M. Filhiyam, E. S. Arinda, and Z. S. Wijanarko, "Spatial Distribution of Water Quality in Welang, Gembong and Rejoso," vol. 16, no. 3, pp. 64–74, 2023.
- [29] A. A. Gunawan, A. N. Falah, A. Faruk, D. S. Lutero, B. N. Ruchjana, and A. S. Abdullah, "Spatial data mining for predicting of unobserved zinc pollutant using ordinary point Kriging," in *2016 International Workshop on Big Data and Information Security (IWBIS)*, IEEE, 2016, pp. 83–88.
- [30] C. O. Handayani, S. Sukarjo, and T. Dewi, "Penilaian tingkat cemaran logam berat pada lahan pertanian di hulu sungai Citarum, Jawa Barat," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 20, no. 3, pp. 508–516, 2022.
- [31] W. A. E. Putri, M. I. Susanti, M. H. Rozirwan, and F. Agustriani, "Status Cemaran Logam Berat di Sedimen Muara Sungai Musi Sumatera Selatan," *Buletin Oseanografi Marina*, vol. 11, no. 2, pp. 177–184, Jun. 2022.
- [32] D. Puspita, P. Nugroho, S. Palimbong, and R. P. Wijaya, "Identifikasi cemaran mikroplastik pada Sungai Inlet Rawa Pening dan biotanya," *Journal Science of Biodiversity*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2022.

- [33] B. Seftianingrum, I. Hidayati, and A. Zummah, "Identifikasi mikroplastik pada air, sedimen, dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di Sungai Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur," *Jurnal Jeumpa*, vol. 10, no. 1, pp. 68–82, 2023.
- [34] A. Supit, L. Tompodung, and S. Kumaat, "Mikroplastik sebagai Kontaminan Anyar dan Efek Toksiknya terhadap Kesehatan," *Jurnal Kesehatan*, vol. 13, no. 1, pp. 199–208, 2022.
- [35] H. A. Pradana, S. Wahyuningsih, E. Novita, A. Humayro, and B. H. Purnomo, "Identifikasi kualitas air dan beban pencemaran sungai bedadung di intake instalasi pengolahan air PDAM Kabupaten Jember," *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, vol. 18, no. 2, pp. 135–143, 2019.