

IMPLEMENTASI WIRELESS SENSOR NETWORK: PERBANDINGAN METODE INVERSE DISTANCE WEIGHT DAN ORDINARY KRIGING UNTUK ESTIMASI KADAR GAS AMONIA PADA LINGKUNGAN PETERNAKAN

Imam Ahmad Ashari^{*1}, Retno Agus Setiawan², Khoirun Nisa^{*3}

^{1,2,3}Universitas Harapan Bangsa, Banyumas

Email: ¹imamahmadashari@uhb.ac.id, ²retnoagussetiawan@uhb.ac.id, ³khoirunnisa@uhb.ac.id

*Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 23 November 2021, diterima untuk diterbitkan: 13 Oktober 2022)

Abstrak

Wireless Sensor Network merupakan salah satu teknologi yang menjadi tren saat ini. Salah satu sektor bidang yang banyak memanfaatkan penerapan teknologi ini adalah agrikultur. WSN banyak digunakan dalam mengatasi permasalahan di sektor agrikultur, salah satunya pada sektor peternakan. Permasalahan yang sering terjadi di industri peternakan adalah gas beracun yang timbul dari kotoran hewan ternak, yaitu amonia. Peningkatan konsentrasi gas amonia di peternakan dapat menyebabkan keracunan serta kematian unggas ketika mencapai kadar konsentrasi tertentu. Dengan pemanfaatan teknologi WSN kadar gas amonia di lingkungan peternakan dapat diketahui secara *realtime*. Hanya saja besarnya biaya menjadi kendala pemasangan perangkat WSN di lingkungan peternakan. Oleh karena itu pada penelitian ini di usulkan metode yang mampu mengetahui persebaran gas amonia hanya dengan menggunakan beberapa titik stasiun pemantauan. Metode interpolasi mampu mengatasi permasalahan tersebut. Metode interpolasi yang di pakai dalam penelitian ini adalah metode *Inverse Distance Weight* (IDW) dan *Ordinary Kriging* (OK). Dari hasil pengujian menggunakan model MAPE metode IDW menghasilkan nilai MAPE sebesar 23,45% dan metode OK menghasilkan nilai MAPE sebesar 24,95%. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa metode IDW lebih baik daripada metode OK dalam menentukan nilai taksiran gas amonia di suatu titik lokasi.

Kata kunci: *wireless sensor network, amonia, inverse distance weight, ordinary kriging*

IMPLEMENTATION OF WIRELESS SENSOR NETWORK: COMPARISON OF INVERSE DISTANCE WEIGHT AND ORDINARY KRIGING METHODS FOR ESTIMATING AMONIA GAS LEVELS IN THE LIVESTOCK ENVIRONMENT

Abstract

Wireless Sensor Network is a technology that is becoming a trend today. WSN is widely used in overcoming problems in the subfield of agricultural, livestock. The problem that often occurs in the livestock industries is the poisonous gas that arises from livestock manure, namely amonia. Increasing the concentration of amonia in the farm can cause poisoning and death of poultry when it reaches a certain concentration. With the use of WSN technology, amonia gas levels in the livestock environment can be known in realtime. It's just that the high cost becomes an obstacle to installing WSN equipment in the farm environment. Therefore, this research proposes a method that is able to determine the distribution of amonia gas only by using several monitoring stations. The interpolation method is able to overcome these problems. The interpolation method used in this study is the Inverse Distance Weight (IDW) and Ordinary Kriging (OK) method. From the test results using the MAPE model, the IDW method produces a MAPE value of 23.45% and the OK method produces a MAPE value of 24.95%. From the test results, it shows that the IDW method is better than the OK method in determining the estimated value of amonia gas at a certain location.

Keywords: *wireless sensor network, amonia, inverse distance weight, ordinary kriging*

1. PENDAHULUAN

Baru-baru ini, *Wireless Sensor Networks* (WSN) telah menarik banyak perhatian karena

penyebarannya yang luas pada perkembangan *Internet of Things* (Shaikh and Zeadally, 2016). Dengan bantuan teknologi WSN beberapa permasalahan yang terjadi dalam kehidupan sehari-

hari dapat terselesaikan. Dalam kerangka industri sebagai contoh pemanfaatan WSN untuk mendukung otomatisasi pabrik dan fleksibilitas dalam lingkungan industri yang bekerja secara dinamis (Lin et al., 2016). Dengan perangkat WSN sebuah industri mampu mengatasi tantangan teknologi dalam skalabilitas dan heterogenitas untuk penyebaran industri skala besar. Perangkat WSN mampu mengakuisisi data secara *realtime* sehingga diagnosa dan prediksi dapat dilakukan dengan hasil yang mendekati kebenaran.

Salah satu industri yang bisa memanfaatkan peralatan WSN adalah industri peternakan. Industri peternakan memproduksi bau yang cukup menyengat dan cukup mengganggu (Grzelka et al., 2018). Selain berbahaya bagi kesehatan peternak dan unggas bau ini juga menjadi keluhan di lingkungan masyarakat sekitar (Kosmider et al., 2012). Bau ini berasal dari kotoran unggas yaitu amonia.

Untuk menggunakan perangkat WSN di butuhkan biaya yang cukup mahal. Beberapa perlengkapan perlu dibangun untuk membangun perangkat WSN sesuai dengan kebutuhan. Sebagai contoh pemanfaatan WSN di lingkungan perkotaan untuk pemantauan banjir dan pemantauan gas berbahaya di lingkungan perkotaan (Rashid and Rehmani, 2016). Perlu biaya mahal untuk mengimplementasikan perangkat WSN dalam mengatasi permasalahan tersebut.

Pada era sekarang ini pemanfaatan WSN banyak dikombinasikan dengan metode komputasi. Salah satu metode komputasi yang sering digunakan adalah metode interpolasi. Dengan menggunakan metode interpolasi koefisien energi komunikasi antar node bisa lebih diminimalisir (Umar et al., 2016). Skema ini jauh lebih efisien dari segi biaya dan sangat lebih akurat daripada perhitungan rata-rata sederhana. Dengan pemanfaatan metode interpolasi masalah utama pada pemanfaatan WSN dapat teratasi. Biaya perangkat yang lebih murah akan meringankan beban para penggerak industri kecil, sehingga semua bisa merasakan kebermanfaatan teknologi ini.

Metode interpolasi yang cukup terkenal dan paling sering menggunakan adalah metode *inverse distance weight* (IDW) dan *Ordinary Kriging* (OK) (Qiao et al., 2018). IDW dan OK mampu menghitung nilai taksir di suatu wilayah dengan menitik beratkan nilai estimasi dengan nilai sampel yang terdekat. Salah satu penelitian yang pernah dilakukan adalah implementasi metode IDW dan OK untuk menghitung perkiraan curah hujan spasial secara otomatis (Zhang & Srinivasan, 2009). Selain itu perbandingan metode IDW dan OK juga sudah pernah dilakukan, yaitu untuk estimasi error deposit bijih besi Dardevey, NE Iran (Shahbeik et al., 2014). Metode IDW dan OK juga pernah di bandingkan dengan metode lain, yaitu *empirical Bayesian kriging* (EBK) untuk pendugaan pencemaran air tanah (Mirzaei & Sakizadeh, 2016).

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis tentang metode interpolasi mana yang terbaik antara metode IDW dan OK. Masing-masing metode digunakan untuk mendeteksi kadar gas amonia di lingkungan peternakan. Data yang digunakan adalah data amonia yang diambil menggunakan perangkat WSN. Objek pada penelitian ini adalah lingkungan peternakan ayam broiler.

2. METODE PENELITIAN

Metode interpolasi adalah metode yang mengasumsikan nilai-nilai yang lebih dekat satu sama lain lebih mirip daripada yang lebih jauh (Elumalai et al., 2017). Menghitung nilai yang diukur di sekitar lokasi yang tidak diukur. Metode interpolasi yang paling populer digunakan yaitu metode *Inverse Distance Weight* dan *Ordinary Kriging*. Metode *Inverse Distance Weight* (IDW) merupakan metode interpolasi parsial, mengasumsikan bahwa tiap titik input mempunyai pengaruh yang bersifat lokal yang berkurang terhadap jarak. Metode ini memberi bobot lebih tinggi pada titik yang terdekat dengan titik data dibandingkan titik yang lebih jauh (Ke et al., 2011). Persamaan umum metode IDW bisa di lihat pada persamaan (1) berikut (Xie et al., 2011).

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n W_i Z_i \quad (1)$$

$Z(x)$ merupakan nilai taksiran di nilai x , w_i , merupakan nilai bobot masing-masing titik sampel, z_i merupakan bobot setiap titik ukuran yang akan digunakan, dimana bobot akan berkurang dengan jarak, n merupakan jumlah titik sampel di sekitar lokasi prediksi yang akan digunakan untuk menentukan nilai prediksi dan i merupakan parameter titik. Untuk menghitung nilai bobot masing-masing titik sampel gunakan persamaan (2) berikut ini.

$$W_i = \frac{\left[\frac{1}{d_i}\right]^p}{\sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{d_j}\right]^p} \quad (2)$$

Dengan d_i merupakan bobot jarak titik yang diketahui, d_j merupakan total *inverse distance*. p merupakan nilai pangkat, bobot nilai p harus lebih dari 1, umumnya yang digunakan adalah 2. Parameter *power* p mempengaruhi pembobotan dari setiap nilai lokasi yang diukur terhadap nilai lokasi yang diprediksi. Jadi, jika jarak antara lokasi sampel yang diukur dengan lokasi nilai taksir semakin besar, maka bobot (atau pengaruh) titik ukuran terhadap nilai taksir akan berkurang secara eksponensial.

Bobot adalah proporsional terhadap inversi jarak. Akibatnya, jika semakin besar jarak maka bobot akan berkurang secara cepat. Seberapa cepat bobot berkurang tergantung pada nilai p . Jika $p = 0$, tidak ada penurunan bobot dengan jarak, setiap bobot W_i akan sama, sehingga nilai taksir merupakan nilai

rata-rata dari semua nilai ukuran. Jika semakin besar p , bobot untuk titik-titik yang jauh akan berkurang dengan cepat (secara eksponensial). Jika nilai p sangat besar maka hanya sejumlah kecil titik di sekitar lokasi yang akan mempengaruhi nilai taksiran.

Dengan menggunakan metode IDW, maka semua nilai X pada wilayah observasi dapat dipetakan dengan hanya beberapa titik sampel pengukuran, tidak perlu harus mengukur kadar konsentrasi gas amonia di tempat pada setiap inchi wilayah yang diamati. Tentunya, IDW hanya salah satu dari sekian banyak metode interpolasi geostatistik. Selain IDW ada metode interpolasi lainnya, seperti *Kriging*, *Spline*, *Radial Basis Function (RBF)*, *Local Polynomial Interpolation*, *Global Polynomial Interpolation*, *Natural Neighbors*, *Trend*, dan lain sebagainya.

Ordinary Kriging adalah sebuah metode yang diperkenalkan pada awal tahun 1977. Metode ini merupakan metode interpolasi stokastik yang paling disukai (Adhikary et al., 2016). *Ordinary Kriging* merupakan metode interpolasi yang digunakan untuk melakukan penaksiran nilai pada objek tertentu. Metode ini membantu memperkirakan nilai suatu variabel yang tidak diketahui di lokasi yang tidak teramati berdasarkan nilai yang diamati dan diketahui di lokasi sekitarnya. *Ordinary Kriging* menduga suatu variabel pada suatu titik tertentu dilakukan dengan mengamati data yang sejenis pada suatu daerah sekitarnya (Garcia-Flores at al., 2012).

Kriging biasa dikenal sebagai estimator tak bias linier terbaik. Linier disini mengartikan bahwa perkiraannya diperoleh dari kombinasi linier berbobot dari data yang diamati. Dan yang terbaik adalah bahwa varian kesalahan diminimalkan saat melakukan estimasi nilai yang tidak diketahui di lokasi target. Nilai tidak bias dihasilkan karena mencoba untuk memiliki nilai yang diharapkan dari residu menjadi nol. Data yang digunakan pada metode *Ordinary Kriging* merupakan data spasial dengan rata-rata populasi tidak diketahui dan di asumsi bersifat stasioner (Fridayani et al., 2012). Dalam menggunakan *Ordinary Kriging* diperlukan langkah-langkah: a. Menghitung *semi variance* b. Menentukan *semi variogram* c. Menghitung prediksi *Estimator Ordinary Kriging* bisa di rumuskan pada persamaan (3) dan penjelasan rumusnya ada pada persamaan (4) (Getis and Fischer, 2010):

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \tag{3}$$

Dimana:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \tag{4}$$

Keterangan:

$Z(X_0)$ = nilai Prediksi pada variable X

λ_i = pembobot yang menentukan ukuran jara_k antar titik

$i = 1, 2, n$, dimana n adalah banyaknya data yang akan diolah

$Z(X_i)$ = nilai actual pada variabel X pada data ke-I

Cara mencari λ ada pada persamaan (5) berikut ini:

$$\begin{aligned} C \cdot \lambda &= D \\ C - 1 \cdot C \cdot \lambda &= C - 1 \cdot D \\ I \cdot \lambda &= C - 1 \cdot D \\ \lambda &= C - 1 \cdot D \end{aligned} \tag{5}$$

Dimana C digunakan untuk mencari nilai matrix covariance antar pengamatan aktual, seperti pada persamaan (6).

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & \dots & C_{nn} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{6}$$

Sedangkan untuk mencari nilai D dari *matrix covariance* antar pengamatan aktual dan prediksi di tunjukkan pada persamaan (7).

$$C = \begin{bmatrix} C_{10} \\ \vdots \\ C_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \tag{7}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengambilan Data Amonia menggunakan Teknologi Wireless Sensor Network

Pengambilan data amonia dilakukan di peternakan ayam broiler, dengan luas kandang 720 meter persegi. Dengan ukuran kandang adalah 60m x 12m. Jumlah ayam pada peternakan tersebut berjumlah sekitar 11.000 ekor. Sensor diletakkan pada kandang bagian depan, tengah, dan belakang. Dimana jarak antara sensor depan dan tengah adalah 28m, sedangkan sensor tengah dan belakang berjarak 32m.

Pengambilan data amonia dilakukan secara *realtime* dengan menggunakan metode akuisisi data sensor. Pada penelitian ini sensor yang menggunakan adalah sensor MQ-135. Sensor tipe MQ-135 disebut sebagai *air quality control* sensor. Sensor ini memiliki fungsi dan cakupan yang luas untuk mendeteksi kualitas udara dari gas yang mencemari lingkungan atau membahayakan kesehatan seperti: *amonia, aromatic compounds, sulfur, benzene vapor, smoke, NH₃, NO_x, alcohol* dan *CO₂*.

Proses akuisisi sensor dilakukan dengan menerjemahkan tegangan analog pada sensor MQ-135 ke dalam bahasa biner 0-1024 melalui ADC. Untuk mengubah level tegangan agar bisa dibaca oleh mikrocontroller pada penelitian ini menggunakan komunikasi data serial RS232. Untuk mengakuisisi

data hasil pembacaan ADC dari sensor MQ-135 gunakan persamaan berikut.

$$VRL = ADC * 5/1024 \tag{8}$$

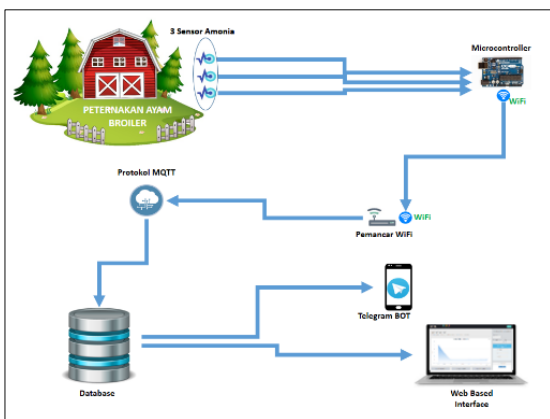
$$Rs = (VC - VRL / VRL) * RL \tag{9}$$

$$PPM = Rs/Ro \tag{10}$$

$$PPM = 6.8232 * (Rs/Ro) 2,307 \tag{11}$$

Pada persamaan di atas VRL merupakan tegangan output rangkaian di mana rumusnya adalah ADC yang merupakan nilai analog dari data amonia dikali dengan nilai tegangan tetap. Rs merupakan tahanan pada sensor, VC merupakan tegangan yang masuk ke sensor dan RL adalah tahanan beban pada rangkaian. Dengan rumus di atas nilai biner kadar gas amonia bisa didapatkan.

Data yang dibaca kemudian disimpan ke dalam database dengan menggunakan protokol MQTT. Adapun rancangan arsitektur Wireless Sensor Network dalam proses akuisisi data sensor bisa di lihat pada gambar 1.



Gambar 1. Arsitektur Wireless Sensor Network

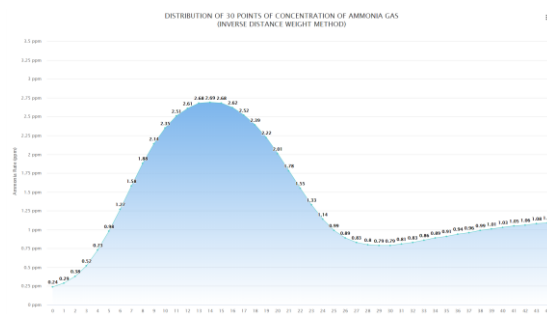
Pada gambar 1 diperlihatkan bahwa terdapat 3 node sensor yang di letakkan pada area kandang. Sensor tersebut mengirim data ke database dengan menggunakan protocol MQTT dan perangkat WiFi yang tersedia di microcontroller sebagai konektornya. Setelah tersimpan, data tersebut diolah menggunakan metode yang digunakan dan kemudian ditampilkan pada Web Based Interface. Apabila kadar amonia berbahaya maka data tersebut akan dikirim ke Bot Telegram yang telah dibuat sebelumnya.

Gas amonia dikatakan aman bagi kesehatan apabila kadar amonia kurang dari 5ppm. Gas amonia dikatakan waspada adalah ketika kadar amonia antara 5 ppm sampai dengan 20 ppm. Sedangkan di atas 20 ppm gas amonia sudah dikatakan bahaya dan bisa menyebabkan kematian, bagi unggas maupun petugas kandang (Ashari et al., 2019).

3.2. Menghitung nilai taksir amonia pada titik x

Setelah pengambilan data selesai kemudian dilakukan perhitungan taksiran nilai x menggunakan metode *Inverse Distance Weight* dan metode *Ordinary Kriging*. Adapun hasil dari perhitungan tersebut didapat hasil nilai taksir selama 15 menit adalah sebagai berikut:

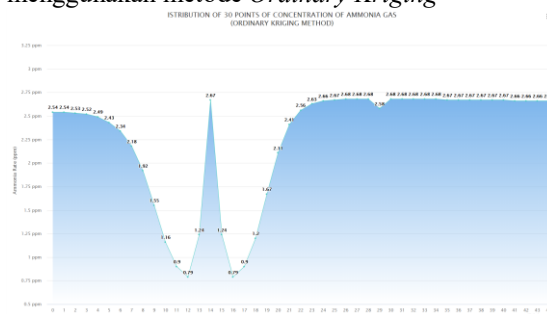
Gambar 2 menampilkan grafik hasil taksiran nilai x menggunakan metode *Inverse Distance Weight*



Gambar 2. Grafik hasil taksiran nilai x menggunakan metode *Inverse Distance Weight*

Pada grafik gambar 2 menunjukkan bahwa kadar gas amonia yang dihitung menggunakan metode IDW relatif aman. Kadar terkecil adalah 0.24 ppm dan tertinggi adalah 2.69 ppm.

Gambar 3 menampilkan grafik hasil taksiran nilai x menggunakan metode *Ordinary Kriging*



Gambar 3. Grafik hasil taksiran nilai x menggunakan metode *Ordinary Kriging*

Pada grafik gambar 3 menunjukkan bahwa kadar gas amonia yang dihitung menggunakan metode OK juga relatif aman. Kadar terkecil adalah 0.79 ppm dan tertinggi adalah 2.68 ppm. Antara dua metode tersebut memiliki kemiripan nilai kadar gas amonia, hanya saja ada perbedaan hasil disetiap nilai taksir di interval waktu perhitungannya.

3.3. Menghitung Akurasi metode menggunakan metode MAPE

Perhitungan akurasi metode dilakukan menggunakan metode MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). MAPE dihitung dengan

menggunakan kesalahan absolut pada tiap periode dibagi dengan nilai observasi yang nyata untuk periode itu. Kemudian, merata-rata kesalahan persentase absolut tersebut. Pendekatan ini berguna ketika ukuran atau besar variabel taksiran itu penting dalam mengevaluasi ketepatan taksiran. MAPE mengindikasikan seberapa besar kesalahan dalam menaksir sebuah nilai dibandingkan dengan nilai aslinya. Untuk menghitung keakuratan hasil perhitungan dengan menggunakan metode MAPE, gunakan persamaan berikut.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{\text{Actual value} - \text{Formula}}{\text{Actual value}} \right| \times 100\% \quad (12)$$

Actual value merupakan nilai sebenarnya, nilai yang diambil langsung di titik *x* dengan menggunakan sensor MQ-135. Formula merupakan nilai taksir, adalah nilai yang dihitung menggunakan metode IDW dan OK. Penyelesaian pengujian hasil perhitungan metode IDW dengan menggunakan metode MAPE bisa dilihat pada table 1.

Tabel 1. Pengujian MAPE

Actualy	IDW	OK	Hasil IDW	Hasil OK
2.22	2.54	0.24	-0.14	0.89
2.33	2.54	0.29	-0.09	0.88
2.36	2.53	0.38	-0.07	0.84
2.26	2.52	0.52	-0.12	0.77
2.31	2.49	0.73	-0.08	0.68
2.31	2.43	0.98	-0.05	0.58
2.32	2.34	1.27	-0.01	0.45
2.32	2.18	1.58	0.06	0.32
2.34	1.92	1.88	0.18	0.20
2.35	1.55	2.14	0.34	0.09
2.35	1.16	2.35	0.51	0.00
2.35	0.9	2.51	0.62	-0.07
2.36	0.79	2.61	0.67	-0.11
2.37	1.24	2.68	0.48	-0.13
2.37	2.67	2.69	-0.13	-0.14
2.38	1.24	2.68	0.48	-0.13
2.39	0.79	2.62	0.67	-0.10
2.4	0.9	2.52	0.63	-0.05
2.31	1.2	2.39	0.48	-0.03
2.32	1.67	2.22	0.28	0.04
			4.69	4.99

Perhitungan MAPE Inverse Distance Weight

$$MAPE = \frac{1}{20} \sum_{t=1}^{20} \left| \frac{\text{Actual} - \text{Formula}}{\text{Actual}} \right| \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{4.69}{20} \times 100\%$$

$$MAPE = 23.45\%$$

Hasil pengujian menunjukkan nilai akurasi MAPE perhitungan metode IDW untuk menghitung kadar gas amonia pada lingkungan peternakan sebesar 23.45%.

Perhitungan MAPE Ordinary Kriging

$$MAPE = \frac{1}{20} \sum_{t=1}^{20} \left| \frac{\text{Actual} - \text{Formula}}{\text{Actual}} \right| \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{4.99}{20} \times 100\%$$

$$MAPE = 24.95\%$$

Hasil pengujian menunjukkan nilai akurasi MAPE perhitungan metode OK untuk menghitung kadar gas amonia pada lingkungan peternakan sebesar 24.95%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan menggunakan metode MAPE, diperoleh nilai MAPE untuk metode *Inverse Distance Weight* (IDW) adalah 23,45% dan metode *Ordinary Kriging* (OK) adalah 24,95%. Pengujian menggunakan metode MAPE menunjukkan bahwa kedua metode masuk ke dalam kategori cukup pada nilai rentang MAPE.

Kesimpulan pada penelitian ini adalah metode IDW memiliki ketepatan nilai taksir lebih tinggi dibandingkan dengan metode OK. Saran untuk penelitian ke depan adalah lebih menekankan ke variabel penelitian yang digunakan, seperti perangkat, model pengambilan dan metode perhitungan. Semakin banyak variabel yang diteliti maka akan semakin bagus akurasi yang didapatkan.

DAFTAR PUSTAKA

ADHIKARY, S.K., MUTTIL, N., & YILMAZ, A. G., 2016. Genetic programming-based ordinary kriging for spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrologic Engineering*, 21(2), p.04015062.

ASHARI, I.A., WIDODO, A.P., & SURYONO, S., 2019. The Monitoring System for Amonia Gas (NH3) Hazard Detection in the Livestock Environment uses Inverse Distance Weight Method. In 2019 Fourth International Conference on Informatics and Computing, pp.1-6.

ELUMALAI, V., BRINDHA, K., SITHOLE, B., & LAKSHMANAN, E., 2017. Spatial interpolation methods and geostatistics for mapping groundwater contamination in a coastal area. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(12), p.11601-11617.

FRIDAYANI, N.M. S., KENCANA, I.P.E.N., & SUKARSA, K.G., 2012. Perbandingan

- Interpolasi Spasial Dengan Metode Ordinary dan Robust Kriging pada Data Spasial Berpencilan (Studi Kasus: Curah Hujan di Kabupaten Karangasem). *e-jurnal Matematika*.
- GARCÍA-FLORES, R., TOSCAS, P., LEE, D.J., GAVRILIOUK, O., & ROBINSON, G., 2012. A comparison of methods for solving the sensor location problem. In *Geostatistics Oslo 2012*. Springer, Dordrecht., pp.531-542.
- GETIS, A., & FISCHER, M.M., 2010. *Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Appli.*
- GRZELKA, A., SÓWKA, I. & MILLER, U., 2018. Metody oceny emisji odorów z obiektów gospodarki hodowlanej. *Inżynieria Ekologiczna*, 19(2), p.56-64.
- KE, W., CHENG, H.P., YAN, D., & LIN, C., 2011. The application of cluster analysis and inverse distance-weighted interpolation to appraising the water quality of three Forks Lake. *Procedia Environmental Sciences*, 10(1), p.2511-2517.
- KOŚMIDER, J., MAZUR-CHRZANOWSKA, B. & WYSZYŃSKI, B., 2012. *Odory [Odours]*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- KUMAR, V., 2006. Remadevi (2006) Kriging of groundwater levels—a case study. *Journal of Spatial Hydrology*, 6(1), p.81-94.
- LIN, C. C., DENG, D.J., CHEN, Z.Y., & CHEN, K.C., 2016. Key design of driving industri 4.0: Joint energi-efficient deployment and scheduling in group-based industrial wireless sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 54(10), p.46-52.
- QIAO, P., LEI, M., YANG, S., YANG, J., GUO, G., & ZHOU, X., 2018. Comparing ordinary kriging and inverse distance weighting for soil as pollution in Beijing. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(16), p.15597-15608.
- MIRZAEI, R., & SAKIZADEH, M., 2016. Comparison of interpolation methods for the estimation of groundwater contamination in Andimeshk-Shush Plain, Southwest of Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(3), p.2758-2769.
- RASHID, B., & REHMANI, M. H., 2016. Applications of wireless sensor networks for urban areas: A survey. *Journal of network and computer applications*, 60(1), p.192-219.
- SHAHBEIK, S., AFZAL, P., MOAREFVAND, P., & QUMARSY, M., 2014. Comparison between ordinary kriging (OK) and inverse distance weighted (IDW) based on estimation error. Case study: Dardevey iron ore deposit, NE Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(9), p.3693-3704.
- SHAIKH, F.K., & ZEADALLY, S., 2016. Energi harvesting in wireless sensor networks: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energi Reviews*, 55(1), p.1041-1054.
- UMER, M., KULIK, L., & TANIN, E., 2010. Spatial interpolation in wireless sensor networks: localized algorithms for variogram modeling and Kriging. *Geoinformatica*, 14(1), p.101-134.
- XIE, Y., CHEN, T.B., LEI, M., YANG, J., GUO, Q.J., SONG, B., & ZHOU, X.Y., 2011. Spatial distribution of soil heavy metal pollution estimated by different interpolation methods: Accuracy and uncertainty analysis. *Chemosphere*, 82(3), p.468-476.
- ZHANG, X., & SRINIVASAN, R., 2009. GIS-based spatial precipitation estimation: a comparison of geostatistical approaches 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 45(4), p.894-906.