

Pemetaan Muka Air Tanah dengan Menggunakan Metode IDW dan Kriging di PT Bukit Baiduri Energi (Blok Utara) Kabupaten Kutai Kartanegara

Ayub Artha Christ Tiyawarman^a, Nia Kurniadin^b, Romansah Wumu^b, & A. Arifin Itsnani SM^c

^a Program Diploma 3 Teknologi Geomatika, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Samarinda

^b Program Studi Teknologi Rekayasa Geomatika dan Survei, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Samarinda

^c Program Studi Teknologi Geomatika, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Samarinda

ABSTRACT

This research was motivated by the need for information regarding the direction of water level distribution in the research area. By collecting mining concession boundary data, topographic data, and drilling data, it is necessary to present information that is easy for the company to understand. The aim of this research is to determine the accuracy of the IDW and Kriging methods in mapping groundwater levels. Primary groundwater level data collected using the systematic random sampling method was used to create an interpolation model. The accuracy of the interpolation model produced by the IDW and Kriging methods is known by observing the root mean square error (RMSE) parameters and validation tests. The best RMSE of the IDW method with five modeling experiments using 5 varying power (p) values. Meanwhile, the Kriging method uses Simple Kriging and Ordinary Kriging. The interpolation model for each method is then compared to find out which method has the best accuracy. Based on the results achieved, the best interpolation model using the IDW method was obtained using power (p) with a value of 5. The RMSE produced in this model was 10.14 with a validity of 49.01%. The best interpolation model using the Kriging method is obtained through the Ordinary Kriging variant. The RMSE produced by Ordinary Kriging is 8.61 with a validity of 38.21%. The research results show that the Kriging method is more accurate than the IDW method. The RMSE produced by the Kriging method has a lower value and higher validity.

ARTICLE HISTORY

Received: June 14th, 2024

Accepted: June 20th, 2024

Published: June 21st, 2024

KEYWORDS

Groundwater Level, IDW, Kriging, Spatial Interpolation, Systematic Random Sampling

CORRESPONDING AUTHOR

Nia Kurniadin

Email: niakurniadin@politanisamarinda.ac.id

How to cite: Tiyawarman, A. A. C., Kurniadin, N., Wumu, R., & Itsnani SM, A. A. (2024). Pemetaan Muka Air Tanah dengan Menggunakan Metode IDW dan Kriging di PT Bukit Baiduri Energi (Blok Utara) Kabupaten Kutai Kartanegara. *Journal of Geomatics Engineering, Technology, and Science (JGETS)*, 2(2), page 71 - 77. <https://doi.org/10.51967/gets.v2i2.39>

1. PENDAHULUAN

Air adalah zat atau mineral atau unsur penting bagi semua bentuk kehidupan yang diketahui sampai saat ini di bumi, tetapi tidak ada di planet lain dalam Sistem Tata Surya dan menutupi hampir 71% permukaan bumi. Wujudnya bisa berupa cairan, es, uap dan gas. Air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah. Sejumlah air

di bawah permukaan bumi dapat dikumpulkan dengan sumur- sumur, terowongan, atau sistem drainase atau dengan pemompaan. Dapat juga aliran secara alami mengalir ke permukaan melalui pancaran atau rembesan (Kodoatie, 2012).

Muka air tanah merupakan salah satu parameter yang sering kali digunakan dalam kajian geografi, khususnya dalam sub kajian hidrosfer. Contoh kajian yang memerlukan informasi mengenai muka air tanah

CONTACT Nia Kurniadin ✉ niakurniadin@politanisamarinda.ac.id

© 2024 The Author(s). Published by Tanesa Press, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits, unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

di antaranya adalah potensi pencemaran air tanah (Abdelmadjid & Omar, 2013; Ghazavi & Ebrahimi, 2015; Oroji, 2018; Singh et al., 2015), potensi ketersediaan sumberdaya air tanah, dan karakteristik sumberdaya air tanah (Adji & Sejati, 2014; Sejati, 2017). Muka air tanah dapat berdiri sendiri sebagai parameter tunggal namun juga dapat berkorelasi dengan parameter lainnya untuk menghasilkan informasi akhir.

Masuknya teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) ke dalam disiplin ilmu geografis menjadi proses penyusunan informasi spasial lebih mudah dan efisien (Longley et al., 2015). Informasi spasial muka air tanah dihasilkan dari data vektor yang memiliki struktur titik (*point*). Data tersebut diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan. Lokasi pengambilan data umumnya ditentukan dengan metode penentuan sampel. Metode penentuan sampel diterapkan untuk mengumpulkan data primer agar riset dapat berjalan secara efisien dari segi waktu, biaya, dan tenaga, namun tetap berpedoman pada sisi ilmiah. Metode penentuan sampel yang diterapkan dalam penelitian mengakibatkan tidak semua bagian daerah penelitian diambil datanya. Sehingga dibutuhkan metode untuk menggeneralisasi agar data atau sampel yang diambil dapat menggambarkan kondisi daerah penelitian secara keseluruhan. Metode generalisasi yang sering digunakan oleh para peneliti adalah interpolasi spasial.

Interpolasi adalah salah satu metode yang digunakan untuk mencari nilai dari suatu fungsi pada suatu titik yang terletak di antara 2 titik yang nilai fungsi pada kedua titik tersebut sudah diketahui. Secara umum dalam matematika, interpolasi terbagi menjadi empat jenis interpolasi yang dibagi berdasarkan fungsi dan cara menginterpolasinya. Biasanya ditemukan masalah umum interpolasi berupa menjabarkan data untuk fungsi dekatan, dan salah satu metode penyelesaiannya dinamakan metode prinsip substitusi (Hadi, 2013).

Perangkat lunak berbasis SIG memiliki kemampuan untuk menganalisis interpolasi spasial (Longley & Cheshire, 2017). Metode interpolasi spasial yang disediakan oleh perangkat lunak SIG di antaranya adalah IDW (*Inverse Distance Weighting*) dan Kriging. Setiap metode interpolasi spasial memiliki akurasi yang berbeda. Pengetahuan terhadap tingkat akurasi setiap metode sangat diperlukan oleh pengguna. Perbandingan akurasi interpolasi dengan metode IDW dan Kriging pernah dikaji oleh beberapa peneliti dengan beragam objek kajian, di antaranya penentuan besaran sedimen tersuspensi (Patiung, 2021), penentuan konduktivitas hidrolik tanah (Gumiere et al., 2014), pembuatan model ketinggian digital (Arfain &

Handayani, 2016), penentuan elevasi (Respatti et al., 2014), penentuan temperatur kota (Hsu et al., 2017), penentuan kondisi geologi (Wang et al., 2017), penentuan arah dan akumulasi air tanah (Widiawaty et al., 2018). Kajian yang secara spesifik membahas akurasi metode IDW dan Kriging dengan objek pemetaan muka air tanah belum banyak ditemukan hingga saat ini.

Berdasarkan latar belakang yang disampaikan maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan akurasi metode IDW dan Kriging dalam pemetaan muka air tanah. Unsur keterbaruan penelitian ini terletak pada objek kajian, metode penentuan sampel, jumlah sampel yang digunakan, dan metode untuk menguji akurasi model interpolasi spasial. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi untuk menentukan metode interpolasi yang paling sesuai dalam pemetaan muka air tanah.

2. METODE

2.1. Lokasi, Alat, dan Bahan Penelitian

Lokasi sebagai objek pada penelitian ini adalah wilayah konsesi tambang PT Bukit Baiduri Energi (Blok Timur), Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk pengumpulan data berupa GPS receiver Garmin 64S dan Piezometer, sedangkan untuk pengolahan data penelitian adalah perangkat lunak ArcGIS 10.8. Bahan yang digunakan berupa data koordinat titik bor dan data pengukuran muka air tanah yang diperoleh dari hasil pengukuran di wilayah konsesi tambang PT Bukit Baiduri Energi (Blok Timur), Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur.

2.2. Pengumpulan Data

Data titik koordinat titik bor dan data pengukuran muka air tanah diperoleh secara langsung dengan mengukur muka air tanah pada lubang hasil pengeboran yang tersebar di area yang akan diteliti. Lokasi lubang hasil pengeboran yang akan dijadikan sebagai lokasi pengukuran ditentukan dengan menggunakan alat Piezometer. Penentuan lokasi lubang dilakukan dengan cara membagi daerah penelitian menggunakan grid imajiner dengan ukuran sesuai kebutuhan. Grid imajiner tersebut dibentuk dengan menghubungkan koordinat x dan y pada tepi peta. Setelah grid-grid tersebut terbentuk di seluruh area, sampel data menggunakan data yang tersedia dari perusahaan yang telah tersedia untuk dilakukan analisa.

Peralatan lapangan yang digunakan dalam pengukuran ini meliputi pita ukur, GPS (*Global Positioning Systems receiver* Garmin 64S dengan akurasi ketelitian 3 meter dan Piezometer. Setiap sampel memiliki atribut yang berupa sepasang koordinat (X dan Y dalam satuan meter dengan sistem koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*) dan nilai muka air tanah (Z, dalam satuan meter). Angka koordinat diperlukan agar data dari perusahaan yang telah dikumpulkan dapat ditransformasikan menjadi data digital geospasial. Sebaran titik sampel penelitian dapat diamati pada Gambar 2, sedangkan rincian data sampel dapat diamati pada Tabel 1. Berdasarkan sampel yang telah dikumpulkan, muka air tanah di daerah penelitian memiliki variasi mulai dari 11,03 meter hingga 44,89 meter.



Gambar 2. Persebaran Sampel Penelitian

Tabel 1. Data Muka Air Tanah

No	Koordinat (m)		ID Sampel	Muka Air Tanah (m)
	X	Y		
1	511130	9950002	S01	44,897
2	511171	9949134	S07	16,498
3	511145	9948665	S08	15,422
4	510754	9948841	S09	41,529
5	510412	9948989	S10	13,270
6	510041	9949199	S11	11,913

No	Koordinat (m)		ID Sampel	Muka Air Tanah (m)
	X	Y		
7	510061	9948729	S13	11,038
8	510421	9948571	S12	19,859
9	511148	9949574	S03	26,017
10	510362	9949892	S05	12,807
11	511515	9949865	S02	24,914
12	510359	9949431	S06	12,090
13	510748	9949635	S04	14,598

2.3. Pengolahan Data

Data muka air tanah yang telah diperoleh dari hasil pengukuran di wilayah konsesi tambang, selanjutnya dilakukan pengolahan pada perangkat lunak ArcGIS 10.8. Data tersebut diinterpolasi spasial menggunakan IDW (*Inverse Distance Weighting*) dan Kriging. Pengolahan menggunakan metode IDW dilakukan dengan sebanyak 5 kali dengan masing-masing nilai faktor eksponen (*power*) 1 sampai dengan 5. Sedangkan untuk metode Kriging menggunakan *Simple Kriging* dan *Ordinary Kriging*.

Persamaan IDW yang digunakan dalam pembobotan adalah sebagai berikut (Isaak & Srivastava, 1989 dalam Purnomo, 2018):

$$w_i = \frac{1}{di^p} \sum_{i=1}^n \frac{1}{di^p} \quad (1)$$

Untuk menghitung nilai titik yang ditaksir digunakan persamaan berikut:

$$\hat{z}_0 = \sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i \quad (2)$$

dengan:

\hat{z}_0 : Nilai titik yang ditaksir

w_i : Faktor bobot dari titik ke-i

z_i : Nilai dari titik penaksir ke-i

di : Jarak antara titik ke-i dengan titik yang ditaksir

p : Faktor eksponen (*power*) 1, 2, 3, 4, 5

Rumus estimator kriging $\hat{Z}(u)$ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\hat{Z}(u) - m(u) = \sum_{u=1}^n \lambda_u [Z(u_u) - m(u_u)] \quad (3)$$

dengan:

u, u_u : Vektor lokasi untuk estimasi dan salah satu dari dua data yang berdekatan, dinyatakan sebagai u

$m(u)$: Nilai ekspektasi dari $Z(u)$
 $m(u_u)$: Nilai ekspektasi dari $Z(u_u)$
 $\lambda_u(u)$: Nilai $Z(u_u)$ untuk estimasi lokasi u , nilai $Z(u_u)$ yang sama akan memiliki nilai yang berbeda untuk estimasi pada lokasi berbeda
 u : Banyaknya data contoh yang digunakan untuk estimasi

Langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil interpolasi spasial menggunakan metode IDW dan Kriging. Pada tahap ini diperoleh nilai parameter *error* pada setiap model interpolasi secara otomatis menggunakan ekstensi *Geostatistical Analysis* pada perangkat lunak ArcGIS.

Persamaan untuk standar deviasi:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (4)$$

dengan:

S : Standar deviasi

x_i : Nilai x ke- i

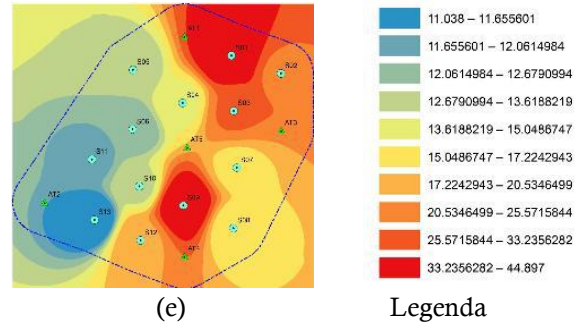
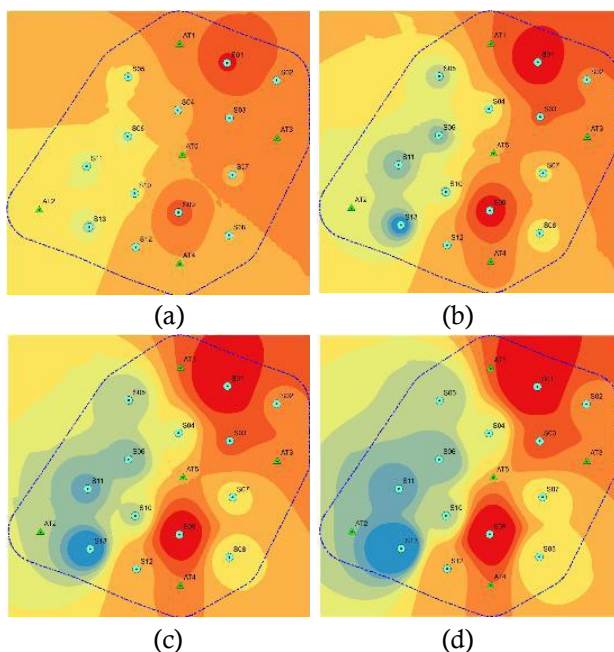
\bar{x} : Nilai rata-rata data

n : Jumlah data

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Akurasi Metode IDW

Model interpolasi muka air tanah yang dihasilkan dengan metode IDW berdasarkan variasi nilai *power* (p) dapat diamati pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Hasil Interpolasi Spasial Metode IDW Interpolasi dengan (a) $p=1$, (b) $p=2$, (c) $p=3$, (d) $p=4$ dan (e) $p=5$

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa setiap warna merepresentasikan area muka air tanah (dalam satuan meter) di daerah penelitian. Lebar kelas (*range*) muka air tanah dalam gambar tersebut merupakan hasil asli (*default*) dan belum diklasifikasikan ulang (*reclassify*).

Berdasarkan Gambar 3 diketahui pula bahwa variasi atau perbedaan nilai p menyebabkan perbedaan pola interpolasi yang terbentuk. Semakin besar nilai p menyebabkan area dengan pola terpusat atau melingkar semakin banyak. Tekstur garis interpolasi juga akan bertambah halus sejalan dengan penggunaan nilai p yang semakin besar. Variasi nilai p menyebabkan perbedaan nilai RMSE. Perbedaan nilai RMSE berdasarkan variasi nilai p dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Nilai RMSE Berdasarkan Variasi Nilai p

Nilai p	Nilai RMSE
1	9,21
2	9,08
3	9,31
4	9,70
5	10,14

Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa variasi nilai p yang digunakan tidak menyebabkan perbedaan yang signifikan terhadap nilai RMSE. Nilai RMSE dapat dikatakan identik, karena memiliki angka utama dengan nilai 9. Oleh karena itu untuk mengetahui tingkat akurasi yang lebih detail, dilakukan validasi dengan sampel uji (Tabel 3).

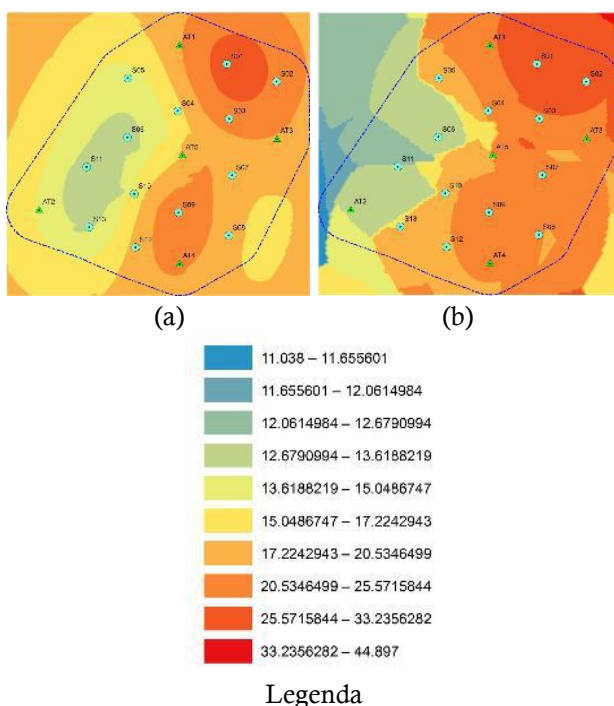
Tabel 3. Validitas Model Interpolasi Muka Air Tanah Metode IDW

ID Sampel	Muka Air Tanah (m)	Muka Air Tanah Model (m)				
		$p=1$	$p=2$	$p=3$	$p=4$	$p=5$
AT1	25,029	23,139	25,090	27,325	29,532	31,573
AT2	21,732	15,695	14,238	13,011	12,203	11,739
AT3	36,333	23,199	23,669	23,770	23,735	23,702
AT4	27,523	20,162	22,223	23,822	24,826	25,370
AT5	33,021	20,487	20,058	19,602	19,117	18,614
Validitas model (%)		40,19	38,97	42,46	46,00	49,01

Berdasarkan pengamatan nilai RMSE dan uji validasi terhadap model interpolasi, maka model terbaik pada metode IDW diperoleh menggunakan p dengan nilai 5.

3.2. Akurasi Metode Kriging

Metode Kriging memiliki beberapa varian berdasarkan jumlah variabel data yang digunakan untuk memperoleh hasil interpolasi. Penelitian ini menggunakan satu variabel (*univariate*), yaitu kedalaman muka air tanah. Varian yang paling sesuai untuk menghasilkan interpolasi dengan satu variabel adalah *Simple Kriging* dan *Ordinary Kriging* (Li & Heap, 2008). Akurasi kedua metode tersebut kemudian dibandingkan menggunakan data muka air tanah yang tersebar di daerah penelitian. Hasil interpolasi dengan kedua metode tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Interpolasi Spasial Metode Kriging
(a) *Simple Kriging*, (b) *Ordinary Kriging*

Seperti halnya dengan hasil interpolasi IDW, hasil interpolasi spasial pada metode Kriging juga masih bersifat alami, belum diklasifikasikan ulang (*reclassify*). Berdasarkan hasil interpolasi yang tersaji dalam Gambar 4, terdapat pola yang berbeda. Model area kedalaman muka air tanah yang dibentuk dengan metode *Simple Kriging* memiliki struktur yang lebih halus jika dibandingkan dengan model interpolasi pada *Ordinary Kriging*. Perbedaan hasil interpolasi tentu merupakan refleksi dari perbedaan nilai parameter eror yang dihasilkan pada varian metode Kriging.

Parameter eror juga dapat diketahui dari sebuah model interpolasi dengan metode Kriging berupa

RMSE. Adapun perbandingan nilai parameter eror berdasarkan model interpolasi muka air tanah dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Nilai RMSE Metode Kriging

Metode Interpolasi	RMSE
Ordinary Kriging	8,61
Simple Kriging	9,20

Berdasarkan Tabel 4, Ordinary Kriging merupakan metode terbaik dalam menghasilkan model interpolasi muka air tanah. Jika dibandingkan dengan varian *Simple Kriging*, nilai parameter RMSE pada varian *Ordinary Kriging* lebih kecil. Validasi kemudian dilakukan untuk mengetahui model yang menghasilkan akurasi terbaik. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Validitas Model Interpolasi Muka Air Tanah Metode Kriging

ID Sampel	Muka Air Tanah (m)	Muka Air Tanah Model (m)	
		<i>Simple Kriging</i>	<i>Ordinary Kriging</i>
AT1	25,029	9,57	0,0029
AT2	21,732	32,33	70,98
AT3	36,333	205,24	138,93
AT4	27,523	18,88	39,12
AT5	33,021	156,78	121,41
Validitas model (%)		38,89	38,21

Berdasarkan pengamatan nilai parameter eror dan uji validasi terhadap model interpolasi, maka model terbaik pada metode Kriging diperoleh menggunakan metode *Ordinary Kriging*.

3.3. Perbandingan Akurasi Metode IDW dan Kriging

Dua metode interpolasi spasial yang disediakan oleh perangkat lunak ArcGIS 10.8 telah disimulasikan dan dibandingkan tingkat akurasinya untuk melakukan interpolasi terhadap data muka air tanah. Hasil perbandingan kedua metode tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Akurasi Metode IDW dan Kriging

Metode Interpolasi	RMSE	Validitas (%)
IDW dengan $p = 1$	9,21	40,19
IDW dengan $p = 2$	9,08	38,97
IDW dengan $p = 3$	9,31	42,46
IDW dengan $p = 4$	9,70	46,00
IDW dengan $p = 5$	10,14	49,01
Ordinary Kriging	8,61	38,21
Simple Kriging	9,20	38,89

Berdasarkan Tabel 3, tingkat akurasi terbaik pada metode IDW didapatkan dengan penggunaan $p = 5$. Nilai RMSE yang didapatkan sebesar 10,14 dengan kesesuaian sampel validator sebesar 49,01%. Nilai RMSE terkecil memang tidak didapatkan menggunakan $p = 3$, tetapi menggunakan $p = 2$ dengan nilai RMSE sebesar 9,08. Namun jika dilihat validitasnya, penggunaan $p = 3$ memiliki persentase lebih tinggi daripada $p = 2$. Berdasarkan hasil simulasi, dapat dijelaskan pula bahwa semakin kecil nilai RMSE yang model interpolasi belum tentu validitasnya juga semakin tinggi.

Selanjutnya, berdasarkan Tabel 5, akurasi terbaik pada metode Kriging diperoleh dengan RMSE sebesar 0,0029, yaitu pada varian *Ordinary Kriging*. Validitas model yang dihasilkan melalui metode *Ordinary Kriging* menunjukkan persentase yang cukup tinggi, yaitu sebesar 38,21%, sedangkan pada varian Simple Kriging, RMSE terbaik diperoleh pada nilai 9,57 dengan validitas sebesar 38,89%.

Berdasarkan perbandingan seluruhnya, diketahui bahwa dalam kasus interpolasi muka air tanah, metode Kriging dapat dikatakan lebih akurat jika dibandingkan dengan metode IDW. Model interpolasi spasial muka air tanah dengan metode Kriging menghasilkan RMSE yang lebih kecil dan menghasilkan persentase selisih validitas yang lebih kecil jika dibandingkan dengan metode IDW.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa metode Kriging dengan varian *Ordinary Kriging* dapat dikatakan lebih akurat daripada metode IDW, namun perlu diingat bahwa nilai akurasi masih terbilang rendah, karena validitas terbaik yang dapat dicapai hanya sebesar 50%. Persentase yang rendah tersebut dapat disebabkan karena data muka air tanah yang dikumpulkan dalam penelitian ini memiliki sebaran dengan jarak yang tidak teratur. Perlu dilakukan penelitian menggunakan data sejenis namun dengan persebaran yang lebih teratur, rapat, dan dengan jumlah sampel uji validasi yang lebih banyak. Hal tersebut perlu dilakukan untuk mengetahui apakah nilai RMSE dapat lebih kecil dan validitas dapat lebih baik dari hasil yang telah diperoleh dalam penelitian ini.

5. REFERENSI

- Abdelmadjid, B., & Omar, S. (2013). Assessment of groundwater pollution by nitrates using intrinsic vulnerability methods: A case study of the Nil valley groundwater (Jijel, North-East Algeria). *Ajol.Info*, 7(10), 949–960.
- Adji, T. N., & Sejati, S. P. (2014). Identification of groundwater potential zones within an area with various geomorphological units by using several field parameters and a GIS approach in Kulon Progo Regency, Java, Indonesia. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 161–172. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0779-z>
- Arfain, J., & Handayani, H. H. (2016). Analisa Data Foto Udara untuk DEM dengan Metode TIN, IDW, dan Kriging. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 182–187. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17382>
- Ghazavi, R., & Ebrahimi, Z. (2015). Assessing groundwater vulnerability to contamination in an arid environment using DRASTIC and GOD models. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(9), 2909–2918. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0813-2>
- Gumiere, S. J., Lafond, J. A., Hallema, D. W., Périard, Y., Caron, J., & Gallichand, J. (2014). Mapping soil hydraulic conductivity and matric potential for water management of cranberry: Characterisation and spatial interpolation methods. *Biosystems Engineering*, 128, 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.09.002>
- Hadi, B. S. (2013). Metode Interpolasi Spasial dalam Studi Geografi (Ulasan Singkat dan Contoh Aplikasinya). *Geomedia: Majalah Ilmiah Dan Informasi Kegeografian*, 11(2), 235–252. <https://doi.org/10.21831/gm.v11i2.3454>
- Hsu, S., Mavrogianni, A., & Hamilton, I. (2017). Comparing Spatial Interpolation Techniques of Local Urban Temperature for Heat-related Health Risk Estimation in a Subtropical City. *Procedia Engineering*, 198(September 2016), 354–365. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.091>
- Kodoatie, R. J. (2012). *Tata Ruang Air Tanah*. Indonesia: Andi.
- Li, J., & Heap, A. D. (2008). *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists*. Geoscience Australia, Record 2008/23.
- Longley, P. A., & Cheshire, J. A. (2017). Geographical information systems. In *The Routledge Handbook of Mapping and Cartography* (1st Ed., p. 8). Routledge.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Science and Systems*. John Wiley & Son.
- Oroji, B. (2018). Assessing groundwater vulnerability by pollution mapping in Iran: Case study Hamadan - Bahar plain. *Geofisica Internacional*, 57(3), 161–174.
- Patiung, O. (2021). Distribusi Besar Butir Sedimen Tersuspensi Pada Daerah West Levee Pt. Freeport Indonesia. *Dinamis*, 18(1), 18–25. <https://doi.org/10.58839/jd.v18i1.852>
- Purnomo, H. (2018). Aplikasi Metode Interpolasi Inverse Distance Weighting dalam Penaksiran Sumberdaya Laterit Nikel (Studi Kasus di Blok R, Kabupaten Konawe-Sulawesi Tenggara). *Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi, ANGKASA*, 10(1), 49–60.

- Respatti, E., Gojantoro, R., & Wahyuningsih, S. (2014). Perbandingan Metode Ordinary Kriging dan Inverse Distance Weighted untuk Estimasi Elevasi pada Data Topografi. *Jurnal Eksponensial*, 5(2), 163–170.
- Sejati, S. P. (2017). Karakteristik Sumber Daya Airtanah Dangkal di Kecamatan Cangkringan Kabupaten Sleman Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Media Komunikasi Geografi*, 18(2), 166–177.
- Singh, A., Srivastav, S. K., Kumar, S., & Chakrapani, G. J. (2015). A modified-DRASTIC model (DRASTICA) for assessment of groundwater vulnerability to pollution in an urbanized environment in Lucknow, India. *Environmental Earth Sciences*, 74, 5475–5490. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4558-5>
- Wang, F., Xu, P., Wang, C., Wang, N., & Jiang, N. (2017). Application of a gis-based slope unit method for landslide susceptibility mapping along the longzi river, southeastern tibetan plateau, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(6). <https://doi.org/10.3390/ijgi6060172>
- Widiawaty, M. A., Dede, M., & Ismail, A. (2018). Analisis Tipologi Urban Sprawl di Kota Bandung Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Seminar Nasional Geomatika: Penggunaan Dan Pengembangan Produk Informasi Geospasial Mendukung Daya Saing Nasional*, 547–554.