

PERBANDINGAN METODE *MULTIPLE LINEAR REGRESSION* (MLR) DAN *REGRESSION KRIGING* (RK) DALAM PEMETAAN KETEBALAN TANAH DIGITAL

Comparison of Multiple Linear Regression (MLR) and Regression Kriging (RK) Method in Digital Soil Thickness Mapping

Muhammad Fauzan Ramadhan^{1*}, Guruh Samodra², Muhammad Rizky Shidiq Nugraha³, Djati Mardiatno²

¹ Program Magister Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, 55281, Sleman, Yogyakarta

² Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, 55281, Sleman, Yogyakarta

³ Program Studi Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, 55281, Sleman, Yogyakarta

*Penulis korespondensi : muhammad.fauzan.r@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Ketebalan tanah berpengaruh terhadap beberapa proses yang terjadi dipermukaan dan dapat dipetakan dengan berbagai metode. Pemetaan tanah digital dapat digunakan untuk mengestimasi distribusi spasial dari ketebalan tanah dan kesesuaian dari peta prediksi tanah. Pemetaan tanah digital menggunakan metode regresi seperti *Multiple Linear Regression* (MLR) and *Regression Kriging* (RK) digunakan untuk mengestimasi ketebalan tanah di Lereng Waduk Bener. Waduk Bener merupakan proyek strategis nasional yang dibangun untuk irigasi dari aktivitas pertanian. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan variasi spasial ketebalan tanah Lereng Waduk Bener. Akurasi metode MLR dan RK dibandingkan untuk mendapatkan metode yang akurat dalam memetakan ketebalan tanah. Terdapat 212 data *training* dan 53 data uji akurasi pemetaan ketebalan tanah yang didapatkan melalui pengamatan lapangan. Terdapat 5 variabel lingkungan yang digunakan seperti elevasi, jarak dari sungai, kemiringan lereng, kecembungan lereng, dan indeks kebasahan topografi. Bahasa pemrograman R dengan *package* *gstat*, *krige*, dan *stats* digunakan dalam metode MLR dan RK dalam pemetaan ketebalan. Hasil menunjukkan jika RK lebih akurat dibandingkan MLR.

Kata kunci : *ketebalan tanah, pemetaan tanah digital, regresi Kriging, regresi linear berganda*

Abstract

Soil thickness has a significant influence on many of earth surface processes, and it can be mapped using various methods. Digital soil mapping can be used to estimate the spatial distribution of soil thickness and can estimate the uncertainty of the soil prediction map. Digital soil mapping using regression methods such as *Multiple Linear Regression* (MLR) and *Regression Kriging* (RK) was used to estimate soil thickness of the slope of Bener Reservoir. Bener Reservoir is a national strategic project which is built for irrigation to improve farming quantity. The aim of this research was to determine the spatial variation of the soil thickness at the slope of Bener Reservoir. The accuracy of MLR and RK were compared to select the best soil thickness prediction. There were 212 and 53 soil thickness samples from fieldwork which were used for data training and testing, respectively. There were 5 environmental variables such as elevation, distance from river, slope, plan curvature, and topographic wetness index. R programming language with *gstat*, *krige*, and *stats* Packages was employed for MLR and RK prediction. The result showed that KR is more accurate than MLR.

Keywords: *digital soil mapping, multiple linear regression, regression Kriging, soil thickness*

Pendahuluan

Pemetaan tanah merupakan proses untuk membagi tanah dengan klasifikasi terhadap unit pemetaan dengan tujuan mendapatkan informasi tanah secara spasial (USDA, 2017). Hasil akhir yang dicapai saat memetakan tanah adalah mengetahui karakteristik tanah pada suatu wilayah. Salah satu karakteristik tanah yang berupa informasi mengenai sifat tanah adalah ketebalan tanah. Perkembangan teknologi spasial dapat mempermudah sekaligus meningkatkan akurasi dalam pemetaan sifat tanah. Perkembangan teknologi memberikan kemudahan dalam mendapatkan informasi tanah pada wilayah tertentu, sehingga dapat digunakan dalam mengetahui dampak maupun efek dari aktivitas yang sedang terjadi (Searle *et al.*, 2021; Malone *et al.*, 2022).

Perkembangan teknologi komputasi memungkinkan kegiatan pemetaan tanah dilakukan secara digital. Perkembangan ini menyebabkan pemetaan tanah mulai banyak dilakukan dengan memanfaatkan pemodelan secara statistik dan data yang bersifat kuantitatif (Hengl and MacMillan, 2019). Pemodelan statistik dalam pemetaan tanah merupakan prediksi dengan menggunakan data topografi dan turunannya untuk mengetahui karakteristik tanah pada wilayah tertentu (Malone *et al.*, 2017; USDA, 2017; Hengl and MacMillan, 2019). Pengolahan secara digital dapat digunakan untuk mengolah data tanah pada area yang luas dengan waktu yang relatif singkat (Malone *et al.*, 2017). Hasil pemetaan tanah yang dihasilkan dapat berupa informasi distribusi spasial karakteristik atau sifat tanah sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

Ketebalan tanah merupakan salah satu karakteristik tanah yang penting. Informasi ketebalan tanah berkaitan dengan jasa ekosistem terutama pada aktivitas karbon tanah, suhu, dan air (Horst-Heinen *et al.*, 2021), kesesuaian lahan dan pertumbuhan vegetasi (Chen *et al.*, 2019), kondisi aliran permukaan (Han *et al.*, 2018), dan kerawanan longsor (Ho *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2016). Pemetaan ketebalan tanah kemudian dapat dijadikan bahan informasi untuk melakukan pengambilan keputusan untuk kebijakan kedepannya.

Lokasi kajian berada pada Lereng Waduk Bener. Waduk Bener merupakan proyek strategis nasional yang ditetapkan pada tahun 2018 (Peraturan Presiden No. 56/2018, 2018). Pengamatan ketebalan tanah pada Lereng Waduk Bener dapat memberikan informasi mengenai kerawanan longsor dan volume sedimentasi yang dapat mengganggu aliran sungai Bogowonto.

Sungai Bogowonto merupakan masukan utama yang digunakan untuk Waduk Bener. Oleh karena itu informasi ketebalan tanah dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan dalam pemeliharaan Waduk Bener di masa mendatang. Hal ini menyebabkan pemetaan ketebalan tanah cukup penting untuk dilakukan.

Ketebalan tanah dapat dipetakan secara digital karena data ketebalan bersifat kontinyu. Beberapa peneliti memetakan karakteristik tanah yang bersifat kontinyu secara digital. Dharumarajan *et al.* (2022) menggunakan beberapa metode diantaranya berupa MLR dan RK dalam memetakan kandungan kimia tanah yang berkaitan dengan kesuburan. Mehntkesh *et al.* (2013) menggunakan metode MLR dalam memetakan ketebalan tanah pada daerah semiarid dan dapat menemukan variabel lingkungan yang berpengaruh terhadap ketebalan tanah sekitar. Penggunaan metode MLR dan RK juga banyak dilakukan untuk dibandingkan sehingga dapat menemukan metode yang lebih akurat dalam memetakan tanah secara digital (Bostan *et al.*, 2012; Lamichhane *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2019; John *et al.*, 2022). Pendekatan dari dua metode ini cukup berbeda sehingga hasil pemetaan dapat memiliki perbedaan dalam konteks variasi spasial. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui variasi spasial dari ketebalan tanah Lereng Waduk Bener melalui metode MLR dan RK dan membandingkan hasil pemetaan tanah digital dengan metode MLR dan RK.

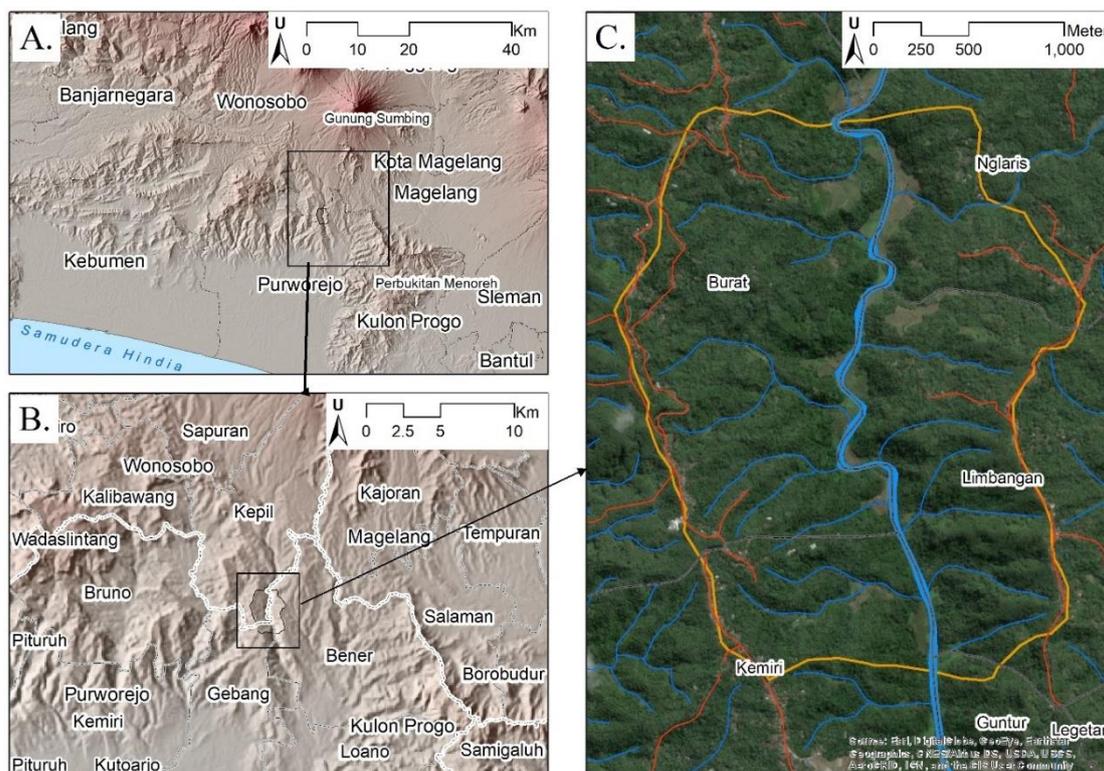
Bahan dan Metode

Lokasi kajian

Lokasi kajian pada paper ini berada pada Lereng Waduk Bener (Gambar 1). Lereng Waduk Bener yang digunakan dalam penelitian merupakan sebagian Daerah Tangkapan untuk Waduk Bener. Secara administratif lokasi ini berada pada Kabupaten Wonosobo dan Purworejo. Desa yang berada dalam lokasi kajian berupa Desa Burat, Desa Nglaris, Desa Limbangan, Desa Kemiri, dan Desa Guntur. Secara regional lokasi penelitian terletak pada zona fisiografi pegunungan serayu selatan, dan berada dalam DAS Bogowonto. Hulu DAS Bogowonto berasal dari Gunung Sumbing, sehingga aktivitas yang terjadi pada DAS Bogowonto juga terpengaruh oleh proses vulkanisme dari Gunungapi Sumbing. Kondisi ketebalan tanah pada lokasi kajian terpengaruh oleh proses vulkanisme dari Gunungapi Menoreh. Batuan dasar pada lokasi kajian umumnya berupa batuan breksi yang tersusun dari batu Andesit

(Rahardjo *et al.*, 1995). Aktivitas vulkanik yang terjadi dapat dibuktikan dari adanya fragmen andesit dan juga batupasir sebagai material yang teresimentasi (Sasangka, 2018). Kondisi ini dapat

menjelaskan jika kondisi tanah pada Lereng Waduk Bener terpengaruh oleh proses vulkanisme, sehingga dimungkinkan terdapat tanah yang berasal dari pengendapan abu vulkanik masa lampau.



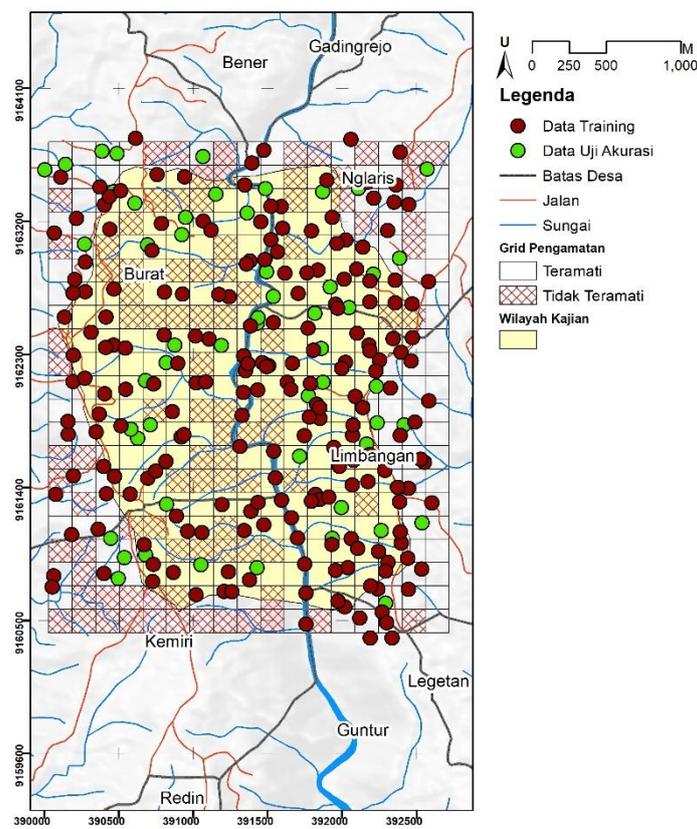
Gambar 1. A) Lokasi kajian secara regional, B) Kondisi lereng pada area sekitar lokasi kajian, C) Lokasi kajian detail/Lereng Waduk Bener.

Sumber data

Data ketebalan tanah diperoleh melalui survei lapangan. Titik pengamatan berjumlah 265 Titik yang tersebar pada Lereng Waduk Bener. Penentuan titik dilakukan dengan menggunakan *grid* berukuran 163 meter x 163 meter (Gambar 2). Terdapat beberapa *grid* yang tidak dapat diamati karena kondisi aksesibilitas yang tidak memungkinkan. Pengambilan sampel dilakukan pada singkapan tanah yang ditemukan, dan pengamatan dilakukan hingga mencapai dasar permukaan. Data pengamatan kemudian diklasifikasikan menjadi dua jenis data yaitu data *training* dan uji akurasi. Data *training* merupakan data yang digunakan sebagai dasar untuk melakukan pengolahan dan pemetaan ketebalan tanah, sedangkan uji akurasi berguna untuk menghitung akurasi dari pemetaan yang dilakukan. Proporsi pembagian data adalah 80 persen (212 data) sebagai data *training*, dan 20 persen (53 data) sebagai data uji

akurasi. Pembagian data dilakukan secara acak. Titik yang digunakan sebagai data *training* dan uji akurasi sebagai berikut (Gambar 3). Data *training* dikaitkan dengan variabel lingkungan atau kondisi lingkungan untuk menghitung ketebalan tanah dalam lokasi penelitian.

Variabel lingkungan atau prediktor digunakan dalam pemetaan sebagai bahan untuk memprediksi nilai ketebalan tanah. Variabel yang digunakan berupa elevasi, jarak dari sungai, kemiringan lereng, indeks kecembungan, dan indeks kebasahan lereng. Sumber data yang digunakan untuk menentukan elevasi, kemiringan lereng, indeks kecembungan, dan indeks kebasahan lereng adalah dengan menggunakan data DEMNAS. Jarak dari sungai didapatkan dengan fungsi *buffer* pada aliran sungai di sekitar lokasi kajian. Besaran pixel setiap data diatur menjadi 10 meter, dengan sistem koordinat yang sama. Pengolahan data dilakukan pada SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*).



Gambar 2. Peta titik sampel.

Setiap variabel lingkungan diturunkan dengan fungsi yang beragam pada SAGA. Elevasi didapatkan dengan menggunakan data DEMNAS yang kemudian di *resampling* pada SAGA untuk mendapatkan ukuran pixel 10 meter. Jarak dari sungai dihitung dengan menggunakan *euclidean distance* pada QGIS dan SAGA. Kemiringan lereng dan indeks kecembungan didapatkan dari *tools Slope, Aspect, Curvature* pada SAGA. Indeks kebasahan didapatkan dari *tools topographic wetness index* (TWI).

Pengolahan data

Pengolahan data pada paper ini menggunakan dua metode yaitu *Regression Kriging* (RK) dan *Multiple Linear Regression* (MLR). Metode *Multiple Linear Regression* merupakan teknik analisis yang mencoba menjelaskan hubungan antara dua variabel atau lebih khususnya variabel-variabel yang mengandung sebab akibat yang disebut sebagai analisis regresi (James *et al.*, 2013). Metode MLR merupakan metode pemetaan tanah digital yang cukup sering ditemukan (Khaledian and Miller, 2020). Bentuk metode MLR berupa hubungan regresi dari data variabel lingkungan (data independen) terhadap data dependen, sehingga

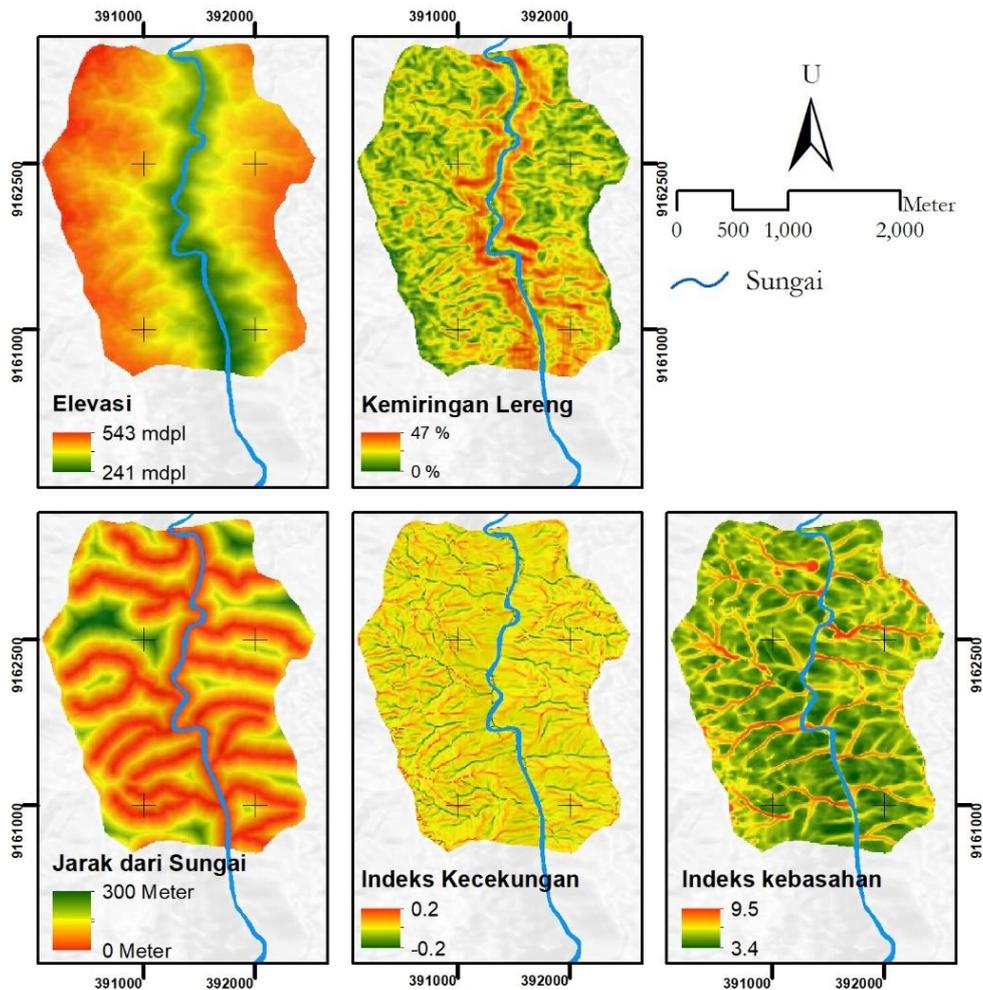
secara model regresi linier berganda dapat dirumuskan sebagai berikut (Hengl *et al.*, 2007):

$$Z(x_0) = \sum_{k=0}^p \beta_k \times q_k(x_0); \text{ dengan } q_0(x_0) \equiv 1, \text{ sehingga } \beta_0 \text{ menjadi konstanta perhitungan untuk MLR}$$

Keterangan:

- $Z(x_0)$ = Nilai variabel yang ingin diketahui pada lokasi x_0 , dalam penelitian ini berupa ketebalan tanah
- p = Jumlah variabel lingkungan yang digunakan
- β_k = Koefisiensi regresi
- q_k = Variabel lingkungan

Regression Kriging merupakan salah satu teknik interpolasi yang menghitung hubungan antar titik pada suatu lokasi tertentu dan lebih dikenal dengan sebutan teknik *kriging linier* karena menggunakan hasil MLR dan kriging untuk proses estimasi (Hengl *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2019). Nama metode RK dapat disebut juga sebagai *universal kriging* (Hengl *et al.*, 2007).



Gambar 3. Prediktor/variabel lingkungan yang digunakan.

Asumsi pada metode *Regression Kriging* adalah berupa variabel terregional $Z(x)$ yang stasioner dan nilai rata-rata tidak diketahui serta bernilai konstan. Secara matematis persamaan *Regression Kriging* dapat dituliskan sebagai berikut (Hengl *et al.*, 2007) :

$$Z(x_0) = \hat{m}(x_0) + \hat{e}(x_0) = \sum_{k=0}^p \beta_k \times q_k(x_0) + \sum_{i=1}^n \lambda_i \times Z(x_i)$$

Keterangan:

- $Z(x_0)$ = Nilai variabel yang ingin diketahui pada lokasi x_0
- $\hat{m}(x_0)$ = Nilai hasil dari metode MLR
- $\hat{e}(x_0)$ = Nilai dari data pengamatan melalui bobot atau hasil dari *kriging*
- n = Jumlah data *training*
- λ_i = Bobot dari $Z(x_i)$ melalui variogram dan struktur spasial
- $Z(x_i)$ = Data *training* ke- i

Regresi kriging merupakan penggabungan dari metode MLR dan kriging. $\hat{m}(x_0)$ merupakan hasil dari MLR pada x_0 , sehingga mengambil persamaan dari MLR yang digunakan sebelumnya dan $\hat{e}(x_0)$ sebagai hasil kriging pada titik x_0 .

Hasil dari kedua metode tersebut akan dibandingkan dan perlu adanya uji akurasi. Ukuran yang digunakan untuk membandingkan keakuratan kedua metode tersebut adalah *Root Mean Square Error* (RMSE). Semakin kecil nilai dari RMSE suatu model, menandakan semakin akurat model tersebut. RMSE sendiri dapat di definisikan sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSE}{n}}$$

Keterangan:

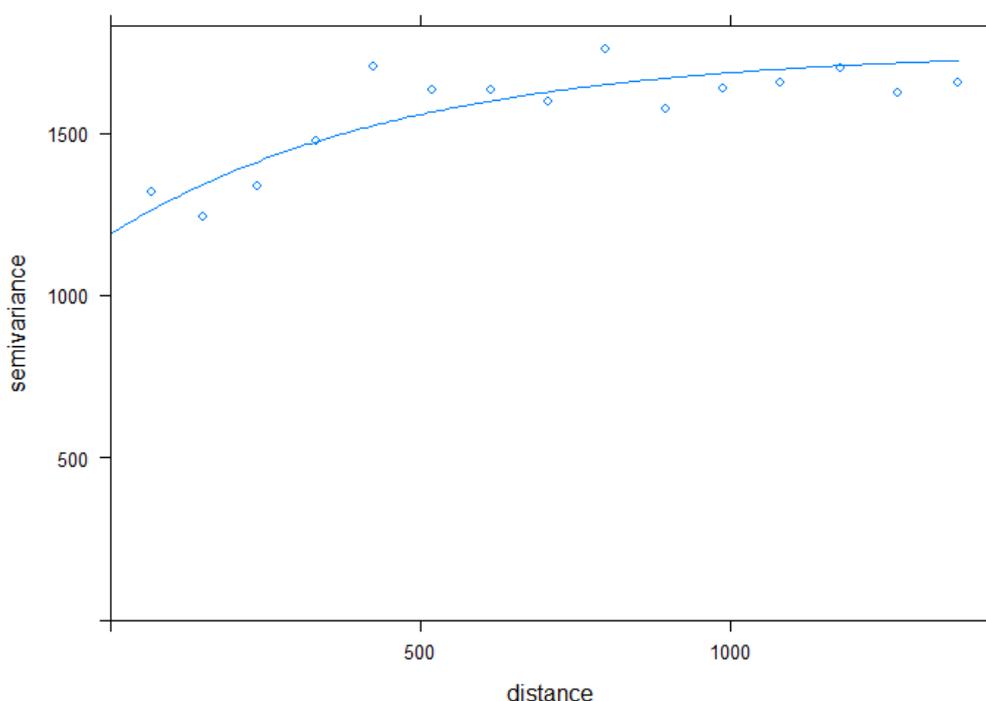
$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2$$

Pengolahan data menggunakan *software* Rstudio dengan menggunakan *package* dari *krige*, *gstat*, dan *stats*. Data ketebalan tanah diolah secara regresi dengan memanfaatkan data hasil pengukuran dilapangan dan data spasial lain yang mewakili kondisi lingkungan sekitar. Bahasa pemrograman R digunakan karena mampu mengolah data secara spasial dan *open source*. *Package gstat* dan *stat* digunakan untuk mengolah data dengan MLR, sedangkan *krige* untuk metode RK. Hasil akhir berupa distribusi spasial ketebalan tanah dengan format raster.

Hasil dan Pembahasan

Pemetaan ketebalan tanah dilakukan untuk memperoleh informasi ketebalan tanah secara spasial. Pemetaan ketebalan tanah dapat dicapai dengan menggunakan metode regresi dengan membandingkan data pengamatan dengan kondisi lingkungan. Metode prediksi yang digunakan berupa *regression kriging* (RK) dan *multiple linear*

regression (MLR). Pemodelan dengan metode regresi dapat dianggap sebagai metode prediksi karena memprediksi data pengamatan berdasarkan kondisi lingkungan, sehingga area yang berada di luar area kajian dapat diketahui nilai ketebalan tanahnya. Kondisi lingkungan yang digunakan merupakan aspek yang berpengaruh terhadap ketebalan tanah. Aspek lingkungan yang digunakan berupa informasi mengenai elevasi, jarak dari sungai, indeks kebasahan topografi, kemiringan lereng, dan kecembungan lereng. Setiap aspek lingkungan memiliki pengaruh yang berbeda. Hasil pada pengolahan MLR menunjukkan jika variabel elevasi merupakan variabel yang paling berpengaruh, sedangkan pada RK menunjukkan semua variabel setara. Hal yang membedakan adalah pada RK menggunakan variogram (Gambar 4) sebagai bobot jarak untuk memprediksi nilai. Variogram yang digunakan memiliki sill sebesar 1700, range 1176, dan nugget 1190. Adanya pengaruh kondisi lingkungan menyebabkan hasil pemetaan cenderung memiliki pola spasial yang baik dan mengikuti dari variabel lingkungan yang ada.



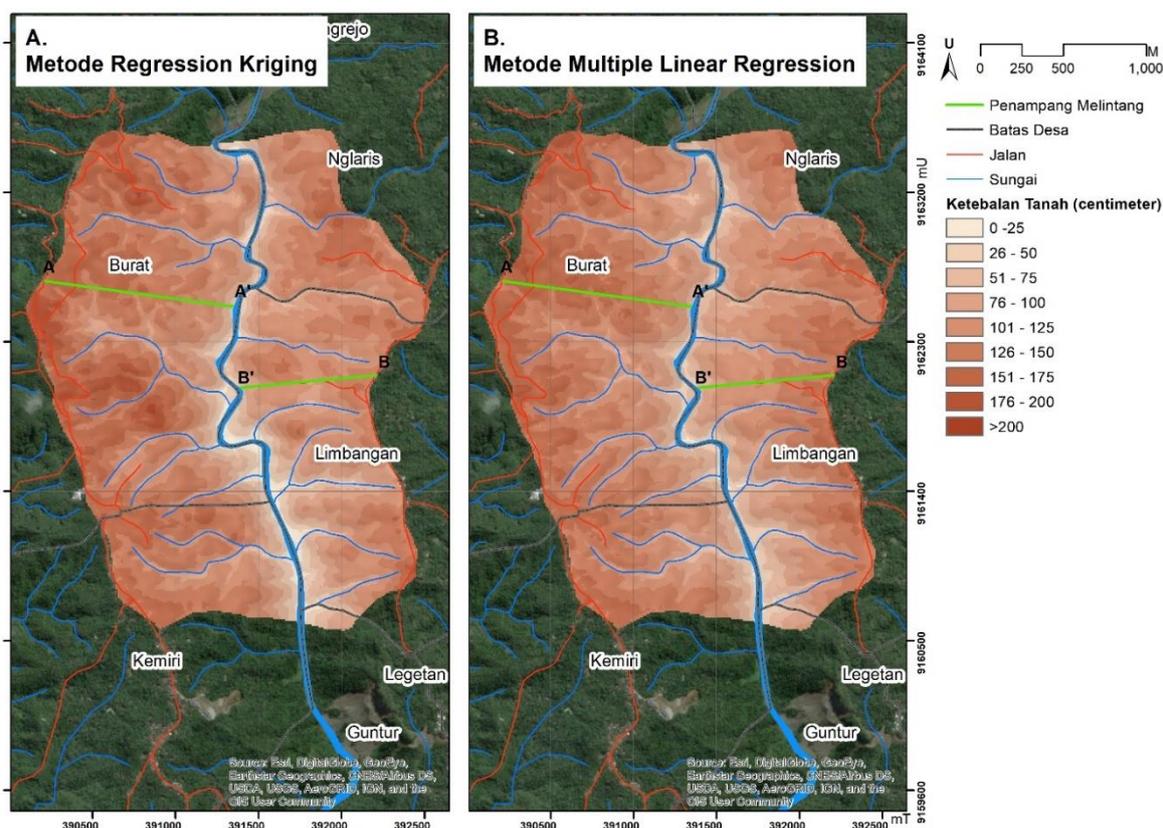
Gambar 4. Variogram ketebalan tanah untuk pemetaan yang digunakan dengan model eksponensial.

Hasil dari pemodelan MLR dan RK menunjukkan hasil yang cukup mirip. Variasi ketebalan tanah secara spasial menunjukkan jika pada bagian yang merupakan puncak igir dan lereng memiliki ketebalan tanah yang cukup tebal. Wilayah lereng memiliki ketebalan tanah yang lebih tipis

dibandingkan puncak igir. Tanah yang dekat dengan aliran Sungai Bogowonto terlihat memiliki ketebalan yang tipis. Hal ini disebabkan oleh berbedanya proses geomorfologis yang terjadi. Wilayah puncak igir memiliki kondisi lereng yang cenderung landai, sehingga proses erosi tidak terlalu

intensif. Wilayah lereng cenderung mengalami proses geomorfologi seperti erosi dan juga kejadian longsor. Proses geomorfologi ini menyebabkan material tanah menjadi terbawa sehingga tanah menjadi tipis. Aliran Sungai Bogowonto yang berada pada bawah lereng wilayah kajian, yang juga merupakan zona deposisi menyebabkan tanah terbawa aliran Sungai Bogowonto. Bagian igir memiliki kondisi batuan yang lebih lapuk dibandingkan bagian lereng dan dekat aliran sungai, karena proses geomorfologis membawa material yang terlapuk, sehingga hanya menyisakan batuan yang masih utuh. Hasil dari algoritma MLR menunjukkan variabel berpengaruh adalah elevasi dan kemiringan sebagai faktor topografi. Koefisien

dari variabel berpengaruh adalah 0,5 untuk elevasi, 0,6 untuk kemiringan lereng, dengan konstanta sebesar -107 (Gambar 5). Proses geomorfologi dalam Lereng Waduk dipengaruhi oleh faktor topografi. Bagian igir berada pada elevasi yang tinggi, sedangkan bagian lereng berada pada elevasi yang lebih rendah. Proses geomorfologi yang terjadi juga menjadi lebih intensif pada bagian bawah igir, sehingga tanah menjadi lebih tipis dibandingkan pada bagian igir. Lu *et al.* (2019) juga menemukan faktor elevasi menjadi variabel lingkungan terpenting dalam memetakan ketebalan tanah karena berkaitan dengan proses geomorfologi yang terjadi.



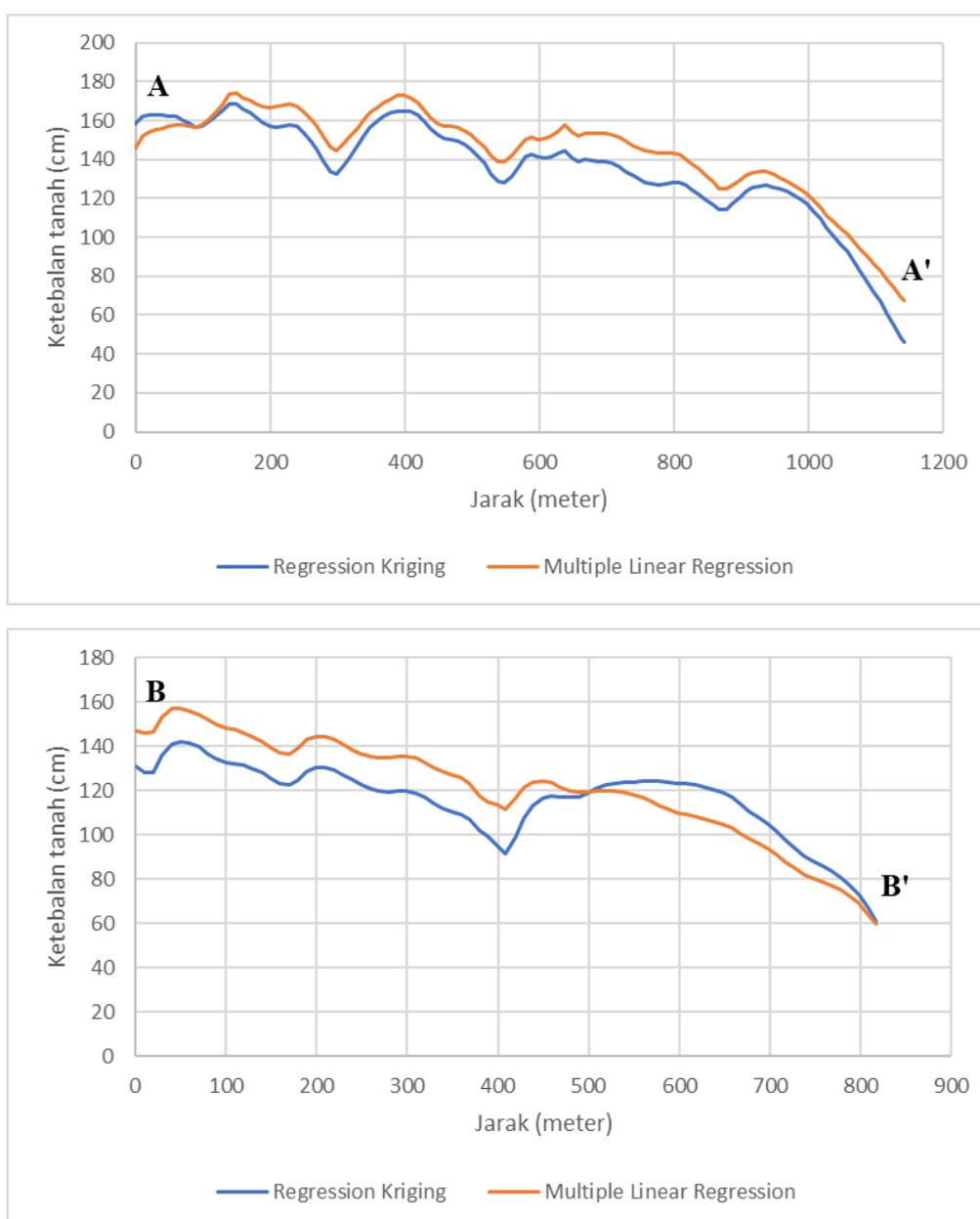
Gambar 5. A) Hasil pemetaan ketebalan tanah metode RK. B) Hasil pemetaan ketebalan tanah metode MLR.

Proses geomorfologi yang berbeda menyebabkan ketebalan tanah pada Lereng Waduk Bener menjadi bervariasi. Hasil metode MLR dan RK menunjukkan jika ketebalan tanah mengikuti dari pola kondisi lingkungan sekitar. Kondisi tersebut sesuai dengan karena dalam MLR dan RK mempertimbangkan variabel lingkungan sebagai bahan untuk memprediksi. Pham *et al.* (2019) menemukan dalam pemetaan dengan

menggunakan metode RK akan memberikan gambaran yang lebih detail daripada dengan menggunakan metode *Ordinary Kriging* (OK). Variasi ketebalan tanah dapat dilihat dengan adanya penampang melintang pada Lereng Waduk Bener. Gambaran dari penampang melintang menunjukkan adanya perbedaan ketebalan secara spasial (Gambar 6). Perhitungan dengan metode MLR cenderung menunjukkan hasil yang lebih

tebal dibandingkan dengan metode RK pada sisi timur (A – A') dan pada sisi barat (B – B'). Ketebalan tanah hasil pemodelan RK pada sisi barat menjadi lebih besar pada daerah yang mendekati sungai. Liu *et al.* (2015) juga menemukan jika metode MLR cenderung menghasilkan hasil pemetaan yang lebih besar dibandingkan RK dalam memetakan kandungan karbon tanah. Adanya perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan algoritma perhitungan yang dilakukan. Perbandingan pengukuran dilakukan dengan melihat nilai error akurasi dari pemetaan yang dilakukan (Tabel 1). Pemetaan dengan metode RK

memiliki Root Mean Square Error (RMSE) yang lebih rendah dibandingkan MLR. Perbedaan RMSE ini juga ditemukan oleh Dharumarajan *et al.* (2022) yang menyebutkan metode MLR memiliki error yang lebih besar dibandingkan dengan metode RK dalam memetakan makronutrient di dalam tanah. Yang *et al.* (2019) juga menemukan MLR memiliki error yang lebih besar dalam memetakan konduktivitas listrik pada topsoil. Metode RK dapat menjadi lebih akurat karena dalam algoritma perhitungan merupakan perkembangan dari metode MLR, sehingga perhitungan dapat disesuaikan (Hengl *et al.*, 2007).



Gambar 6. Penampang melintang pada sisi timur lereng (A – A') dan pada sisi barat lereng (B – B').

Tabel 1. Hasil pengujian akurasi dari metode *Regression Kriging* dan *Multiple Linear Regression*.

	R ²	Concordance	MSE	RMSE (cm)	Bias
Regression Kriging	0.35365	0.473	2278.88	47.7376	-4.4462
Multiple Linear Regression	0.1461	0.30064	2572.68	50.7216	-11.61

Selain mempertimbangkan faktor lingkungan, metode RK juga mempertimbangkan jarak antara masing-masing sampel ketebalan tanah. Berdasarkan hal tersebut metode RK lebih akurat dibandingkan MLR dalam memetakan ketebalan tanah pada Lereng Waduk Bener. Hal ini menunjukkan adanya kesesuaian terhadap beberapa penelitian sebelumnya yang menunjukkan RK lebih akurat seperti pada Bostan *et al.* (2012); Dharumarajan *et al.* (2022); Yang *et al.* (2019). Akurasi pemetaan dapat ditingkatkan dengan pengembangan metode yang digunakan. Metode pemetaan dengan menggunakan *Machine Learning* dapat menjadi opsi untuk mendapatkan hasil pemetaan yang lebih akurat.

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah variasi ketebalan tanah secara spasial menunjukkan jika pada bagian sekitar dasar lembah Sungai Bogowonto memiliki ketebalan tanah yang cenderung lebih tipis dibandingkan bagian igir dan lereng dari Lereng Waduk Bener. Metode RK lebih akurat dari metode MLR karena memiliki nilai RMSE yang lebih rendah. MLR hanya mempertimbangkan faktor lingkungan sedangkan RK mempertimbangkan faktor lingkungan dan jarak antar sampel.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Geografi UGM yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Program Hibah Penelitian Dosen Fakultas Geografi UGM tahun 2022.

Daftar Pustaka

Bostan, P.A., Heuvelink, G.B.M., and Akyurek, S.Z. 2012. Comparison of regression and kriging techniques for mapping the average annual precipitation of Turkey. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation* 19:115-126, doi:10.1016/j.jag.2012.04.010.

Chen, S., Mulder, V.L., Martin, M.P., Walter, C., Lacoste, M., Richer-de-Forges, A.C., Saby, N.P.A., Loiseau, T., Hu, B. and Arrouays, D. 2019. Probability mapping of soil thickness by random survival forest

at a national scale. *Geoderma* 344(July 2018):184-194, doi:10.1016/j.geoderma.2019.03.016.

Dharumarajan, S., Lalitha, M., Niranjana, K.V. and Hegde, R. 2022. Evaluation of digital soil mapping approach for predicting soil fertility parameters - a case study from Karnataka Plateau, India. *Arabian Journal of Geosciences*, doi:10.1007/s12517-022-09629-8.

Han, X., Liu, J., Mitra, S., Li, X., Srivastava, P., Guzman, S.M. and Chen, X. 2018. Selection of optimal scales for soil depth prediction on headwater hillslopes: A modeling approach. *Catena* 163(December 2017):257-275, doi:10.1016/j.catena.2017.12.026

Hengl, T. and MacMillan, R.A. 2019. Predictive Soil Mapping with R. OpenGeoHub Foundation. <https://soilmapper.org/>.

Hengl, T., Heuvelink, G.B.M. and Rossiter, D.G. 2007. About regression-kriging: From equations to case studies. *Computers and Geosciences* 33:1301-1315, doi:10.1016/j.cageo.2007.05.001.

Ho, J. Y., Lee, K.T., Chang, T.C., Wang, Z.Y. and Liao, Y.H. 2012. Influences of spatial distribution of soil thickness on shallow landslide prediction. *Engineering Geology* 124(1):38-46, doi:10.1016/j.enggeo.2011.09.013.

Horst-Heinen, T.Z., Dalmolin, R.S.D., ten Caten, A., Moura-Bueno, J.M., Grunwald, S., Pedron, F. de A., Rodrigues, M.F., Rosin, N.A. and da Silva-Sangoi, D.V. 2021. Soil depth prediction by digital soil mapping and its impact in pine forestry productivity in South Brazil. *Forest Ecology and Management* 488(January), doi:10.1016/j.foreco.2021.118983.

James, G., Witten, D., Tibshirani, R. and Hastie, T. 2013. *An Introduction to Statistical Learning with Applications*. Springer.

John, K., Bouslihim, Y., Ikpi, K., Hssaini, L., Razouk, R., Basse, P., Abraham, I., Chapman, P., Michael, N. and Qin, C. 2022. Do model choice and sample ratios separately or simultaneously influence soil organic matter prediction? *International Soil and Water Conservation Research* 10(3):470-486, doi:10.1016/j.iswcr.2021.11.003.

Khaledian, Y. and Miller, B.A. 2020. Selecting appropriate machine learning methods for digital soil mapping. *Applied Mathematical Modelling* 81:401-418, doi:10.1016/j.apm.2019.12.016.

Kim, M.S., Onda, Y., Uchida, T. and Kim, J.K. 2016. Effects of soil depth and subsurface flow along the subsurface topography on shallow landslide predictions at the site of a small granitic hillslope. *Geomorphology* 271:40-54, doi:10.1016/j.geomorph.2016.07.031.

- Lamichhane, S., Kumar, L. and Wilson, B. 2019. Geoderma Digital soil mapping algorithms and covariates for soil organic carbon mapping and their implications: A review. *Geoderma* 352(June):395-413, doi:10.1016/j.geoderma.2019.05.031.
- Liu, Y., Guo, L., Jiang, Q., Zhang, H. and Chen, Y. 2015. Comparing geospatial techniques to predict SOC stocks. *Soil and Tillage Research* 148:46-58, doi:10.1016/j.still.2014.12.002.
- Lu, Y.Y., Liu, F., Zhao, Y.G, Song, X.D. and Zhang, G.L. 2019. An integrated method of selecting environmental covariates for predictive soil depth mapping. *Journal of Integrative Agriculture* 18(2):301-315, doi:10.1016/S2095-3119(18)61936-7.
- Malone, B., Minasny, B. and Mcbratney, A.B. 2017. *Progress in Soil Science : Using R for Digital Soil Mapping*. <http://www.springer.com/series/8746>.
- Malone, B., Stockmann, U., Glover, M., Mclachlan, G., Engelhardt, S. and Tuomi, S. 2022. Digital soil survey and mapping underpinning inherent and dynamic soil attribute condition assessments. *Soil Security* 6(January):100048, doi:10.1016/j.soisec.2022.100048.
- Mehnatkesh, A., Ayoubi, S., Jalalian, A. and Kanwar, L. 2013. Relationships between soil depth and terrain attributes in a semi arid hilly region in Western Iran. *Journal of Mountain Science* 163-172, doi:10.1007/s11629-013-2427-9.
- Pham, T.G., Kappas, M., Huynh, C.Van., Hoang, L. and Nguyen, K. 2019. Application of ordinary Kriging and regression Kriging method for soil properties mapping in hilly region of Central Vietnam. *International Journal of Geo-Information*, doi:10.3390/ijgi8030147.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, and Rosidi, H.M. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sasangka, D.I.D. dan Indrawan, I. 2018. Karakterisasi kondisi geologi teknik terhadap stabilitas konstruksi Bendungan Bener Kabupaten Purworejo. *Seminar Pembangunan dan Pengelolaan Bendungan*, December.
- Searle, R., Mcbratney, A., Grundy, M., Kidd, D., Malone, B., Arrouays, D., Stockman, U., Zund, P., Wilson, P., Wilford, J., Gool, D. Van, Trianta, J., Thomas, M., Stower, L., Slater, B., Robinson, N., Ringrose-voase, A., Padarian, J., Payne, J., ... Andrews, K. 2021. Digital soil mapping and assessment for Australia and beyond: A propitious future. *Geoderma Regional* 24, doi:10.1016/j.geodrs.2021.e00359.
- USDA. 201). *Soil Survey Manual (Issue 18)*. U.S. Department of Agriculture.
- Yang, S., Liu, F., Song, X., Lu, Y., Li, D. and Zhao, Y. 2019. Mapping topsoil electrical conductivity by a mixed geographically weighted regression kriging : A case study in the Heihe River Basin, northwest China. *Ecological Indicators* 102(February):252-264, doi:10.1016/j.ecolind.2019.02.038.