

PERBANDINGAN METODE INVERSE DISTANCE WEIGHTED (IDW) DENGAN METODE ORDINARY KRIGING UNTUK ESTIMASI SEBARAN POLUSI UDARA DI BANDUNG

Aditya Faudzan¹, Sri Suryani², Tuti Budiawati³

^{1,2}Prodi Ilmu Komputasi Telkom University, Bandung

³Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Bandung

¹aditva.faudzan@gmail.com, ²wati100175@gmail.com, ³tuti_lapan@yahoo.com

Abstrak

Meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor dan kemajuan industri di Bandung mengakibatkan polusi udara terus meningkat. Pada penelitian ini akan dibahas cara mengestimasi penyebaran polutan sebagai penyebab polusi udara di Bandung. Diharapkan estimasi sebaran polusi udara Bandung dapat digunakan untuk membantu memecahkan masalah polusi di Bandung. Polutan yang akan diestimasi penyebarannya adalah nitrogen dioksida (NO₂) dan belerang dioksida (SO₂). Estimasi sebaran polutan udara di Bandung dapat dilakukan dengan pendekatan geostatistika. Metode yang digunakan adalah metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) dan metode *Ordinary kriging* (OK). Data sampel yang digunakan merupakan kadar polutan nitrogen dioksida (NO₂) dan belerang dioksida (SO₂) di 10 titik pada tahun 2005, 2006 dan 2007 di Bandung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Ordinary kriging* (OK) akan menghasilkan estimasi yang lebih baik dari pada metode *Inverse Distance Weighted* (IDW). Hal ini dikarenakan metode *Ordinary kriging* (OK) memberikan ukuran error dan confidence.

Kata Kunci: Estimasi, SO₂, NO₂, IDW, *Ordinary Kriging*.

Abstract

Increases of motor vehicle usage and industrial growth in Bandung cause the never-ending growth of air pollutant level. This research explains of how to estimate the spread of pollutants that increase air pollutant level in Bandung. Estimation of air pollutant spread in Bandung is hopefully able to help reducing the growth of air pollution in Bandung. The pollutant growths that will be estimated are Nitrogen Dioxide (NO₂) and Sulfur Dioxide (SO₂). The estimation of air pollutant in Bandung could be done with geo-statistical approach. The method that used in this research are Inverse Distance Weighted (IDW) and Ordinary Kriging (OK). Sample data that used in this research is the pollutant level of Nitrogen Dioxide (NO₂) and Sulfur Dioxide (SO₂) in 10 points of Bandung from 2005 to 2007. The comparison of these two methods is hoped to give the best estimation. The research shows that Ordinary Kriging(OK) give better estimation than Inverse Distance Weighted (IDW) because Ordinary Kriging (OK) method give error and confidence measurement.

Keywords: Estimation, SO₂, NO₂, IDW, *Ordinary Kriging*.

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi di Bandung selain memberikan efek positif bagi kehidupan warga Bandung juga menyebabkan efek negatif, salah satu contohnya adalah terjadinya pencemaran udara. Kemajuan dalam bidang industri merupakan salah satu penyebab meningkatnya polutan belerang dioksida (SO₂) akibat hasil pembakaran material yang mengandung belerang. Selain kemajuan dalam bidang industri, meningkatnya populasi kendaraan bermotor juga berdampak pada peningkatan jumlah polutan udara di Bandung. Nitrogen dioksida (NO₂) merupakan kadar polutan yang berbahaya bagi manusia dan makhluk hidup lainnya yang berasal dari kendaraan bermotor.

Mensimulasikan estimasi sebaran polutan yaitu belerang dioksida (SO₂) dan nitrogen dioksida (NO₂) di Bandung diharapkan dapat digunakan untuk membantu masalah polusi di Bandung. Geostatistika adalah metodologi untuk menganalisis data yang berkorelasi secara spasial. Estimasi polutan sebagai

penyebab polusi udara di Bandung dapat diperoleh dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) dan metode *Ordinary kriging* (OK) yang biasa digunakan untuk estimasi dalam ilmu Geostatistika. Dengan membandingkan hasil estimasi dari masing-masing metode dipilih hasil estimasi yang memiliki *root mean square error* (RMSE) terkecil agar hasil estimasi yang didapat lebih baik.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pencemaran Udara

Belerang dioksida (SO₂) adalah gas jernih tidak berwarna yang merupakan bagian dari pencemar udara, kadarnya sampai 18% dalam udara. Gas ini baunya menyengat dan amat membahayakan manusia. Oksidasi lanjut dari SO₂, dibantu dengan katalis seperti NO₂, akan membentuk H₂SO₄, sehingga akan membentuk hujan asam [1]. Polutan ini sangat korosif terhadap metal, karena menyebabkan hujan asam. Sumber penyebab

diantaranya kendaraan bermotor (diesel) 1%, pabrik, generator, pemanas 99% [2]. Pengaruh kadar SO₂ yang melebihi batas yang diperbolehkan akan berpengaruh terhadap kesehatan manusia, hewan maupun tumbuh-tumbuhan. Gas SO₂ dapat menyebabkan iritasi dan lebih dari 95% gas SO₂ akan terhirup selama proses pernapasan. Nitrogen dioksida adalah senyawa kimia dengan rumus NO₂. Satu dari beberapa oksida nitrogen, NO₂ digunakan sebagai bahan sintesis untuk pembuatan asam nitrit, yang produksinya mencapai jutaan ton tiap tahunnya. Gas ini berwarna merah-kecoklatan dan merupakan gas beracun, baunya menyengat, dan merupakan salah satu polutan udara utama.

2.2 Data Spasial

Pada dasarnya Geostatistika berhubungan dengan data spasial. Data spasial adalah data yang memiliki informasi lokasi atau data yang bereferensi geografis [2]. Data spasial memiliki tiga karakteristik utama, yaitu:

1. Lokasi: suatu objek spasial berada pada suatu lokasi yang diketahui posisinya pada suatu sistem koordinat (permukaan bumi).
2. Bentuk: suatu objek spasial direpresentasikan dalam tipe geometri.
3. Atribut: suatu objek spasial memiliki karakteristik yang menjelaskan objek spasial tersebut

2.3 Metode Inverse Distance Weighted (IDW)

Metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) merupakan metode deterministik yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya [3]. Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat dari pada yang lebih jauh. Bobot (*weight*) akan berubah secara linear sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Bobot ini tidak akan dipengaruhi oleh letak dari data sampel. IDW mengasumsikan bahwa setiap titik ukuran mempunyai pengaruh lokal yang berkurang dengan jarak. Titik-titik yang lebih dekat ke lokasi estimasi akan diberi bobot yang lebih besar dibandingkan yang terletak lebih jauh, oleh sebab itu dinamakan *inverse distance weighted* (pembobotan inversi jarak). Rumus umum *Inverse Distance Weighted (IDW)*:

$$\hat{z}(z_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_i^{-p}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^{-p}}} \quad (2.1)$$

dimana :

- z_0 = lokasi estimasi
- n = jumlah tetangga terdekat
- $\hat{z}(z_0)$ = nilai lokasi prediksi

- z_i = nilai dari lokasi sampel, dengan $i = 1, 2, \dots, n$
- p = eksponen yang menentukan nilai bobot setiap

pembobotan dari setiap nilai lokasi yang diukur terhadap nilai lokasi yang diestimasi. Jadi, jika jarak antara lokasi sampel yang diukur dengan lokasi estimasi semakin besar maka bobot (atau pengaruh) titik ukuran terhadap estimasi akan berkurang secara eksponensial [3].

2.4 Semivariogram Eksperimental

Semivariogram eksperimental merupakan penaksir bagi semivariogram yang diperoleh dari data yang diketahui [4] :

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{i=1}^{N(h)} (z_i + h) - z_i)^2 \quad (2.2)$$

- z_i : lokasi (koordinat) sampel
- $\hat{\gamma}(h)$: nilai semivariogram untuk setiap jarak h
- z_i : nilai pengamatan di titik z_i
- $z_i + h$: nilai pengamatan di titik $z_i + h$
- $|N(h)|$: nilai mutlak banyaknya pasangan titik yang mempunyai jarak h

2.5 Model Semivariogram Teoritis

Plot semivariogram $\hat{\gamma}(h)$ terhadap jarak h memberikan plot semivariogram eksperimental. Semivariogram eksperimental yang diperoleh dari data biasanya bentuknya tidak beraturan sehingga sulit untuk ditafsirkan dan tidak dapat langsung digunakan dalam penaksiran. Parameter yang ada pada semivariogram teoritis adalah [4] :

1. *Nugget Variance* (C_0) - Variabilitas pada jarak nol; merupakan fenomena diskontinu disekitar titik pangkal semivariogram. Mencerminkan kesalahan sampling dan kesalahan analitis.
2. *Range* (α) - cakupan trend spasial; jarak batas dimana di luar itu sampel bersifat independen secara spasial atau jarak maksimum dimana masih terdapat korelasi antar data.
3. *Sill* (C) - variabilitas dari sampel-sampel yang independen secara spasial; merupakan nilai semivariogram yang tidak berubah untuk h yang tidak terbatas. Nilai sill umumnya mendekati variasi data. Beberapa model semivariogram teoritis yang sering digunakan:

1. Model *Spherical*

$$\gamma(h) = \left\{ \begin{aligned} & C_0 + C \left[\left(\frac{3h}{2\alpha} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{\alpha} \right)^3 \right], 0 < h \leq \alpha \\ & C_0 + C, h > \alpha \end{aligned} \right. \quad (2.3)$$

prediksi jarak dari titik lokasi sampel ke lokasi prediksi. Semakin besar jarak d , maka bobot berkurang

dengan faktor p . Parameter p mempengaruhi

$$b + c, h > 0$$

2. Model Exponential

$$\gamma(h) = b + c (1 - \exp^{-h}), h > 0 \quad (2.4)$$

3. Model Exponential

$$\gamma(h) = c_0 + c [1 - e^{-\frac{h}{\alpha}}] \quad (2.5)$$

4. Model Circular

$$\gamma(h) = c_0 + c \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{h}{\alpha}\right)^2} \right), 0 < h \leq \alpha$$

$$\{ c_0 + c, h > \alpha \} \quad (2.6)$$

5. Model Linear

$$\gamma(h) = h \quad (2.7)$$

dimana :

- $\gamma(h)$: nilai semivariogram dengan jarak h
- α : range, yaitu jarak pada saat nilai variogram mencapai sill
- h : jarak lokasi antar sampel
- c : sill, yaitu nilai semivariogram untuk jarak pada saat besarnya konstan. Nilai ini sama dengan nilai variansi data
- c_0 : nilai semivariogram saat jarak sama dengan nol

2.6 Ordinary Kriging

Pada *simple kriging*, diasumsikan *trend* dari komponen bernilai konstan dan dengan nilai rata-rata yang telah diketahui pada *ordinary kriging* rata-rata nilai pada domain sama dan tidak diketahui, serta nilai estimasi *neighborhood* juga konstan.

Cara mengestimasi nilai pada titik z_0 adalah

menggunakan nilai dari sejumlah n data sampel dengan digabungkannya secara linear dengan bobot

W_i [5].

$$\hat{\gamma}(z_0) = \sum_{i=1}^n W_i \gamma(z_i) \quad (2.8)$$

dimana:

- $\hat{\gamma}(z_0)$ = nilai estimasi di titik z_0
- W_i = nilai bobot data (dari sistem *ordinary kriging*)
- $\gamma(z_i)$ = nilai kadar polutan di titik sampel

n = jumlah sampel yang terlibat dalam proses estimasi

2.7 Validitas

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\hat{\gamma}(z_i) - \gamma(z_i)]^2} \quad (2.9)$$

dimana:

$\hat{\gamma}(z_i)$ = nilai estimasi menggunakan cross validasi

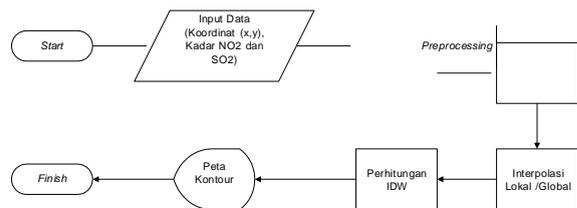
$\gamma(z_i)$ = nilai hasil estimasi
n = jumlah sampel

Semakin kecil nilai RMSE, maka semakin baik. Oleh sebab itu model dipilih yang menghasilkan RMSE terkecil karena semakin kecil nilai RMSE

menunjukkan seberapa dekat data sampel dengan nilai prediksi.

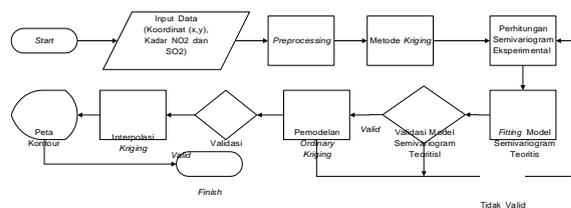
3. Perancangan Sistem

Secara garis besar, tugas akhir ini akan menghasilkan suatu sistem yang dapat mengestimasi penyebaran polutan yaitu belerang dioksida (SO₂) dan nitrogen dioksida (NO₂) sebagai penyebab polusi udara di Bandung. Sistem ini dibangun dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) dan metode *Ordinary kriging* (OK). Hasil dari sistem ini adalah sebuah peta kontur yang dapat menunjukkan informasi estimasi sebaran polutan yaitu belerang dioksida (SO₂) dan nitrogen dioksida (NO₂) di Bandung.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Rancangan Sistem Metode *Inverse Distance Weighted*

(IDW)



Setelah ditemukan model yang sesuai, maka diperlukan validitas untuk dapat mengetahui model yang dipilih sudah benar atau belum. MSE adalah metode untuk mendeteksi error antara data prediksi

dengan data actual. Dalam pemilihan pembobot optimum pada variogram terbaik untuk *Kriging* dilakukan analisis sisaan antara data pengamatan dan data dugaan menggunakan kriteria RMSE (*Root Mean Square Error*). RMSE merupakan akar dari MSE (*Mean Square Error*). Rumus MSE sebagai berikut [9] :

Nilai *root mean square error* (RMSE) yang dihasilkan dengan nilai minimum menggunakan persamaan:

Gambar 3. 2 Diagram Alir Rancangan Sistem Metode *Ordinary Kriging*

3.1 Proses Metode Inverse Distance Weighted (IDW).

3.1.1 Interpolasi Lokal/Global

Teknik interpolasi deterministik dapat dibagi ke dalam dua kelompok yaitu interpolasi global dan interpolasi lokal. Teknik global menghitung prediksi menggunakan seluruh set data sedangkan teknik lokal menghitung prediksi dari titik-titik ukuran yang ada di dalam wilayah *neighborhoods*, yaitu area spasial yang lebih kecil di dalam area studi yang lebih besar.

3.1.2 Perhitungan dengan metode Inverse Distance Weighted (IDW).

Setelah penentuan teknik interpolasi, kemudian hitung nilai prediksi dengan metode Inverse Distance Weighted (IDW) rumus 2.1 di bab 2. Hasil interpolasi spasial diimplementasikan pada sebuah peta kontur

3.2 Proses Metode Ordinary Kriging

3.2.1 Perhitungan Semivariogram Eksperimental

Untuk mengetahui kemungkinan adanya anisotropi, semivariogram dihitung dalam berbagai arah. Bila setiap arah memberikan nilai parameter yang sama disebut isotropik, artinya semivariogram hanya bergantung pada jarak, h . Apabila semivariogram bergantung pada jarak, h , dan arah θ , maka disebut anisotropik. Menghitung semivariogram eksperimental menggunakan rumus 2.2.

3.2.2 Fitting Model Semivariogram teoritis

Input model semivariogram eksperimental yang sudah diplot, fitting hasil plot semivariogram eksperimental dengan semivariogram teoritis. Lalu pilih model semivariogram teoritis, masukan nilai range, sill, dan nugget berdasarkan semivariogram eksperimental yang didapat. Hasil dari perhitungan jarak dibuat dalam bentuk matrik jarak. Matrik jarak mengandung nilai jarak (h) antara satu titik sampel dengan titik sampel yang lain.

3.2.3 Interpolasi Kriging

Setelah model semivariogram teoritis didapatkan, selanjutnya dilakukan validasi model semivariogram teoritis, validasi yang digunakan adalah menggunakan *cross* validasi dengan memperhatikan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) yang dihitung dengan rumus 2.9. Bentuk matriks *Ordinary kriging*, kemudian parameter model terbaik dijadikan input pada estimasi. Hitung hasil estimasi menggunakan rumus 2.8. Dengan menggunakan interpolasi kriging dapat dibuat model estimasi sebaran polusi udara yang dideskripsikan dalam bentuk peta kontur yang merupakan hasil perhitungan estimasi kadar yang diimplementasikan pada isoline

4. Hasil dan Implementasi

4.1 Data

Data sampel merupakan data kadar NO_2 dan SO_2 dalam satuan ppm (part per milion) tahun 2005, 2006 dan 2007 pada wilayah Bandung yang diperoleh dari Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) Bandung. Data sampel tersebut terdiri dari kadar dan koordinat 10 titik di Bandung yang diteliti kadar udaranya menggunakan metode sampling gas dengan passive sampler yang selanjutnya akan dibawa ke laboratorium untuk dianalisa parameter SO_2 , NO_2 , NH_3 dan O_3 . Sepuluh titik di Bandung yang diteliti adalah Dago, Cipedes, Kebon kalapa,

Martadinata, Kopo, Padalarang, Tanjungwangi, Soreang, Tanjungsari, dan Lembang.

4.2 Analisis Metode Inverse Distance Weighted (IDW)

Dengan melihat masing-masing nilai *root mean square error* (RMSE) serta melihat perbandingan nilai *power* 1, 1.5, 2 dan *minimal neighbors* dapat disimpulkan nilai *power* dan *minimal neighbors* berpengaruh terhadap hasil estimasi yaitu jika p mengecil, maka bobot untuk titik-titik yang jauh akan berkurang (secara eksponensial) sehingga titik di sekitar lokasi estimasi akan mempengaruhi nilai estimasi karena memiliki bobot yang lebih besar. Begitu pula *minimal neighbors*, semakin kecil nilai minimum tetangga pada pencarian makan hasil RMSE semakin kecil. Sedangkan jika $p = 0$, tidak ada penurunan bobot dengan jarak, sehingga nilai estimasi sama dengan nilai rata-rata (*mean*) dari semua nilai ukuran. Semakin besar bobot pada sekitar titik prediksi maka hasil estimasi semakin baik karena nilai *root mean square error* (RMSE) semakin mengecil yang akan menunjukkan hasil estimasi semakin baik.

4.3 Analisis Metode Ordinary Kriging

Ordinary Kriging merupakan metode geostatistik yang digunakan untuk mengestimasi nilai pada titik dari daerah yang nilai variogramnya diketahui dengan asumsi mean konstan dengan data sampel yang bersifat stasioner. Data stasioner adalah data yang nilai variansi dan rata-ratanya relatif konstan dalam periode tertentu (tidak ada variasi lokal). Peta voronoi merupakan salah satu cara mencek kestasioneran data spasial [13]. Data yang stasioner dapat di cek ketika disimbolkan oleh entropi atau standar deviasi, dengan melihat keacakan dari thiessen poligon [17]. Hasil akhir estimasi *Ordinary Kriging* di validasi menggunakan *root mean square error* (RMSE). Dipilih model yang memiliki RMSE terkecil untuk mewakili hasil estimasi belerang dioksida (SO_2) dan nitrogen dioksida (NO_2) untuk masing-masing tahun.

4.4 Model Peta Kontur Terbaik

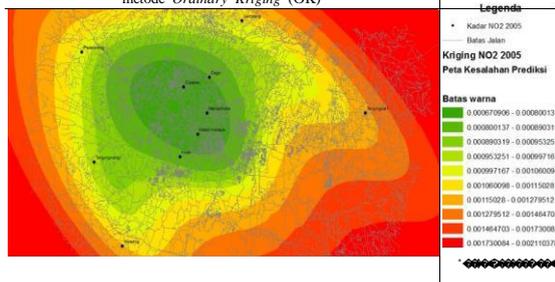
Hasil peta kontur estimasi kadar polutan untuk masing-masing tahun menggunakan dua metode interpolasi spasial kemudian di *georeferencing* dengan paparan muka bumi yang diambil dari aplikasi Google Earth. Setelah itu dibandingkan dan dipilih metode interpolasi spasial terbaik untuk mewakili masing-masing hasil estimasi kadar polutan tiap tahunnya. Pemilihan model peta kontur estimasi terbaik dipilih berdasarkan hasil RMSE yang paling kecil. Berdasarkan hasil analisis didapat metode Ordinary Kriging menghasilkan estimasi lebih baik di bandingkan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) untuk semua jenis polutan tiap tahunnya baik itu belerang dioksida (SO_2) dan nitrogen dioksida (NO_2). Berikut peta kontur estimasi terbaik beserta

peta kesalahan prediksi untuk masing-masing polutan tiap tahunnya :

- Peta kontur kadar NO₂ tahun 2005 di Bandung menggunakan metode interpolasi *Ordinary Kriging* (OK).



Peta kontur estimasi kadar NO₂ tahun 2005 di Bandung dengan metode *Ordinary Kriging* (OK)

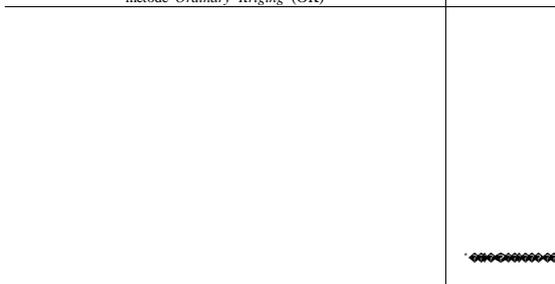


Peta kesalahan prediksi NO₂ tahun 2005 di Bandung dengan metode *Ordinary Kriging* (OK)

- Peta kontur kadar NO₂ tahun 2006 di Bandung.



Peta kontur estimasi kadar NO₂ tahun 2006 di Bandung dengan metode *Ordinary Kriging* (OK)

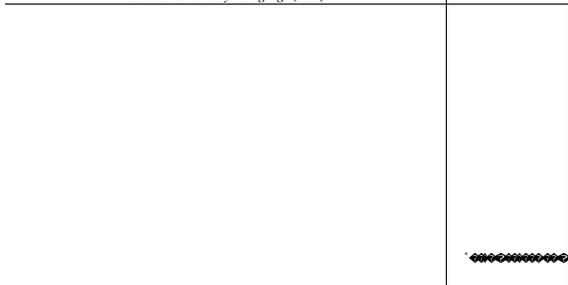


Peta kesalahan prediksi NO₂ tahun 2006 di Bandung dengan metode *Ordinary Kriging* (OK)

- Peta kontur kadar NO₂ tahun 2007 di Bandung.

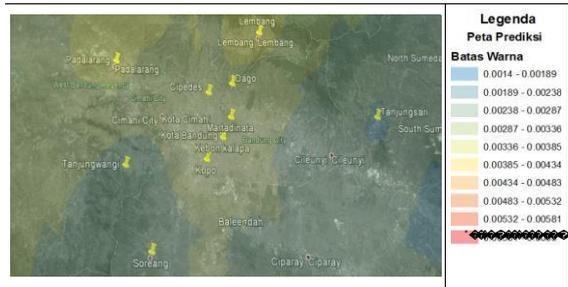


Peta kontur estimasi kadar NO₂ tahun 2007 di Bandung dengan metode *Ordinary Kriging* (OK)

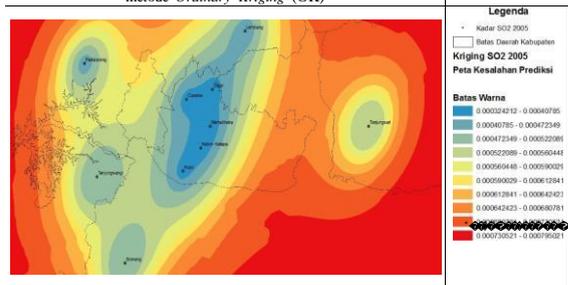


Peta kesalahan prediksi NO₂ tahun 2007 di Bandung dengan metode *Ordinary Kriging* (OK)

- Peta kontur kadar SO₂ tahun 2005 di Bandung.



Peta kontur estimasi kadar SO₂ tahun 2005 di Bandung dengan metode *Ordinary Kriging* (OK)



Peta kesalahan prediksi SO₂ tahun 2005 di Bandung dengan metode *Ordinary Kriging* (OK)

3. Mencoba beberapa metode geostatistik lain untuk mengestimasi kadar polutan nitrogen dioksida (NO₂) dan belerang dioksida (SO₂) di Bandung.

6. Daftar Pustaka:

- [1] A. Holleman and E. Wiberg, *Inorganic Chemistry*, San Diego: Academic Press, 2001.
- [2] Z. Arifin, *Pengendalian Polusi Kendaraan*, Yogyakarta: Afabeta, 2009.
- [3] D. Kania S, "KTG 427 GEOSTATISTIKA," FTSP Itenas, Bandung, 2006.
- [4] N. Cressie, *Statistic for Spatial Data*, Revised Edition, New York: John Wiley & Sons, 1993.
- [5] M. Armstrong, *Basic Linear Geostatics*, Berlin: Springer-Verlag, 1985.
- [6] NCGIA, "Interpolation: Inverse Distance Weighting," NCGIA, 2007. [Online]. Available: <http://www.ncgia.ucsb.edu/pubs/>. [Accessed 7 mei 2014].
- [7] D. Watson and P. G.M, "A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation. Geo-Processing 2," in *A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation. Geo-Processing 2*, 1985, pp. 315-327.
- [8] C. D.Lloyd, *Local Models for Spatial Analysis*, London: Taylor & Francis Group, 2007.
- [9] M. Suprajitno, *Pengantar Geostatistik*, Jakarta: Universitas Indonesia, 2005.
- [10] The University of Edinburgh, "School of GeoSciences," [Online]. Available: <http://www.geos.ed.ac.uk/homes/s0198247/variograms.html>. [Accessed 29 April 2014].
- [11] T. Rusdiyanto, "STIF Bab2001," STIF Bab2001, pp. 5-10, 2012.
- [12] A. D. PuspitaSari, "Pola Spasial pencemaran Udara dari Sumber Pencemar PLTU dan PLTGU Muara Karang," *Pola Spasial pencemaran Udara dari Sumber Pencemar PLTU dan PLTGU Muara Karang*, p. 25, 2011.
- [13] ESRI, "Help ArcGis," 6/29/2011, 2011.
- [14] P. J. A. Widhita, "Penaksiran Kandungan Metodologi," p. 23, 2008.
- [15] G. K. A. Nias, *Modul pelatihan ArcGis Tingkat Dasar*, Aceh: gtz SLGSR, 2007.
- [16] N. M. O. N. H. S. INSTITUTION, "Global Vulcanism Global," Center of Volcanology and Geological Hazard Mitigation (CVGHM), [Online]. Available: <http://www.volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=263090>. [Accessed 30 Juni 2015].
- [17] K. Krivoruchko and E. Krause, "Concepts and Applications of Kriging," ESRI, San Diego, California, 2012.
- [18] T. Darijanto, "Geostatistik," in *Diktat Kuliah Geostatistik*, Bandung, ITB, 2002.
- [19] FMIPA Unirversitas Bengkulu, "Gradien Jurnal MIPA Vol 6," *Gradien*, vol. 6, pp. 585-589, 2010.
- [20] H. Wackernagel, *Multivariate Geostatistics, An Introduction with application*, Berlin: Springer-Verlag, 1998.
- [21] P. Kitanidis, *Introduction To Geostatistics : Applications to Hydrogeology*, USA: The Press Syndicate of The University of Cambridge, 1997.
- [22] R. Ramani, "19th Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry," Society of Mining Engineers, Inc, Littleton, 1986. [Online]. Available: <http://www.kriging.com/publications/APCOM1986.htm>. [Accessed 29 April 2014].
- [23] Geographic Information System, "Minimum number of samples for kriging interpolation," [Online]. Available: <http://gis.stackexchange.com/questions/50584/minimum-number-of-samples-for-kriging-interpolation>. [Accessed 29 April 2014].
- [24] BAKOSURTANAL, "Atlas Nasional Indonesia," 1 Agustus 2009. [Online]. Available: http://atlasnasional.bakosurtanal.go.id/fisik_lingkungan/angin.php?id=1&judul=Indonesia. [Accessed 29 April 2014].
- [25] Kamil, "Jendela Eksplorasi," [Online]. Available: <http://www.jendelaexplorasi.net/2013/02/geostatistik.html>. [Accessed 29 April 2014].
- [26] K. B. N. I. T. 1997, "Perhitungan Dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara," Keputusan Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997 Tentang Perhitungan Dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara, 1997.
- [27] Assomadi, "Index Kualitas Udara," p. 9.
- [28] N. Rahmah Farida, *ESTIMASI KADAR DAN SUMBER DAYA BERDASARKAN POSISI SPASIALDATA PADA TAMBANG NIKEL DENGAN METODE ORDINARY KRIGING BESERTA SIMULASINYA*, Bandung: Universitas Telkom, 2014.