

OPTIMASI PENENTUAN LOKASI STASIUN PEMANTAU KUALITAS UDARA AMBIEN DI KOTA SURABAYA

Anik Djuraidah

Jurusan Statistika

Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya

Aunuddin

Departemen Statistika

Institut Pertanian Bogor, Bogor

Abstract

The ambient air quality monitoring system in Surabaya has five fixed monitoring stations. Monitoring provides important information for public, but is expensive to purchase, utilize, and maintain. Based on result from spatial prediction of spatio-temporal additive model for air pollutant PM₁₀, it is necessary to move the existing monitoring stations at other locations. In this study, we develop a methodology for reallocation of existing monitoring network to find an optimal configuration. The result of reallocation shows that new location of monitoring network can increase the accuracy of spatial prediction, especially at area with high concentration of PM₁₀

Key words:: spatio-temporal data, spatio-temporal additive model, spatial prediction, reallocation monitoring network

PENDAHULUAN

Udara sebagai komponen lingkungan yang penting dalam kehidupan perlu dipelihara dan ditingkatkan kualitasnya sehingga dapat memberikan daya dukung bagi makhluk hidup untuk hidup secara optimal. Surabaya merupakan satu dari sepuluh kota di Indonesia yang pencemaran udaranya dalam taraf mengkhawatirkan, selain kota Jakarta dan Bandung (Media Indonesia, 2005). Laporan Balai Teknik dan Kesehatan Lingkungan Surabaya menyatakan bahwa pada tahun 1999 kadar debu di Surabaya telah lebih dari 37 kali lipat pedoman ambang batas debu yang dikeluarkan oleh WHO. Keadaan ini telah berdampak pada tingginya penyakit ISPA (infeksi saluran pernapasan atas) di kota ini. Dari seluruh kasus penyakit pada anak di Surabaya, ditemukan lebih dari 50 persen adalah penyakit ISPA (Kompas, 2001).

Menurut laporan hasil pengukuran ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara) diketahui kualitas udara ambien di kota Surabaya pada tahun 2002 mempunyai kategori 44 hari baik, 266 hari sedang, 11 hari tidak sehat dengan parameter kritis dominan PM₁₀ (Pelangi, 2003). Pencemar ini berbahaya terhadap kesehatan manusia bila melebihi nilai baku mutu yang ditetapkan PP nomor 41 tahun 1999 yaitu 150 µg/m³. Dampak PM₁₀ terhadap kesehatan manusia antara lain ISPA, penyakit paru-paru kronis dan akut, gangguan mata, dan kanker paru-paru.

Jaringan pemantauan kualitas udara ambien di kota Surabaya mempunyai lima stasiun

pemantau tetap (SUF). Pemantauan kualitas udara memberikan informasi penting, akan tetapi biaya yang dibutuhkan untuk peralatan, operasional, dan perawatan cukup mahal, sehingga perlu dilakukan penilaian untuk efisiensi. Pada umumnya penilaian pada jaringan stasiun pemantau mempertimbangkan keseimbangan antara kualitas ilmiah, perlindungan kesehatan manusia dan lingkungan, dan sumber yang tersedia (USEPA, 2002). Dalam beberapa kasus penilaian menghasilkan keputusan berupa pengurangan atau penambahan jumlah stasiun, pemindahan stasiun ke lokasi yang lebih baik, dan penggantian dengan teknologi lain (Raffuse *et al*, 2005).

Pada data PM₁₀ terdapat korelasi temporal dan korelasi spasial dan disebut sebagai data spatio-temporal. Di samping itu konsentrasi PM₁₀ dipengaruhi oleh faktor meteorologis, yaitu kecepatan angin, curah hujan, dan arah angin. Model aditif spatio-temporal merupakan gabungan antara model aditif deret waktu, model aditif spasial, dan hubungan fungsional faktor meteorologis yang berpengaruh. Model ini dapat digunakan untuk menduga PM₁₀ pada lokasi yang tidak terdapat stasiun pemantau pada waktu tertentu. Peta prediksi spasial dari model ini dapat dimanfaatkan untuk mengetahui pola sebaran spasial dari pencemar udara PM₁₀ (Djuraidah dan Aunuddin, 2006a).

Optimasi penentuan lokasi jaringan stasiun pemantau di Surabaya mempertimbangkan tujuannya dan peta prediksi spasial pencemar

udara dominan PM_{10} . Di samping itu juga mempertimbangkan sensitifitas sensor pada stasiun pemantau kualitas udara yang mampu menangkap pencemar udara sampai sejauh radius 5 km [SARPEDAL KLH, 2003]. Fungsi korelasi spasial diasumsikan tetap meskipun lokasi stasiun pemantau dipindahkan. Data konsentrasi PM_{10} ($\mu g/m^3$) yang digunakan pada penelitian ini diukur oleh lima stasiun pemantau kualitas udara kota Surabaya pada bulan Januari 2002 sampai Desember 2002.

METODE PENENTUAN LOKASI STASIUN PEMANTAU

Permasalahan dalam penilaian jaringan pemantau pada umumnya adalah pengurangan jumlah stasiun pemantau pada jaringan yang mempunyai banyak stasiun untuk efisiensi. Boer *et al* (2002) menggunakan regresi lokal tertimbang (*locally weighted regression*) untuk mengurangi jumlah stasiun pemantau NO_2 di Belanda. Saksena *et al* (2002) menggunakan metode gerombol untuk mengelompokkan pola spasial stasiun pemantau kualitas udara ambien di India. Gaál *et al* (2004) menggunakan metode optimasi dengan kriteria minimisasi ragam spasial untuk menentukan lokasi stasiun. Morawska *et al* (2002) dan Raffuse *et al* (2005) dalam mengurangi stasiun pemantau menggunakan nilai korelasi antar lokasi stasiun (*monitor-to-monitor correlation*), yaitu bila korelasi antara dua lokasi stasiun lebih kecil 0.6 maka kedua lokasi ini dipertahankan.

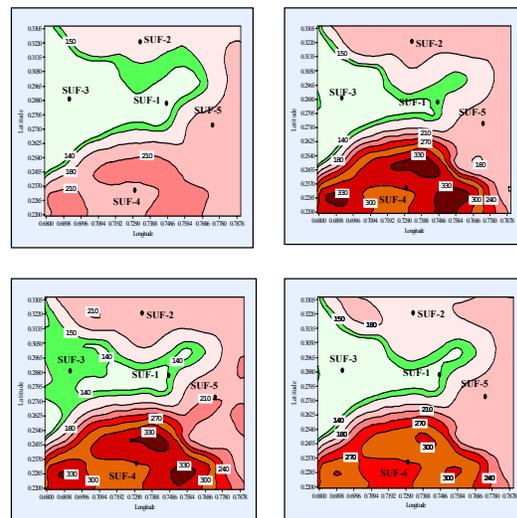
Menurut Watson *et al* (1997) penempatan lokasi stasiun pemantau udara secara acak tidak praktis. Demikian juga dengan metode sistematis (grid) dapat menghasilkan informasi berlebihan karena kemungkinan konsentrasi pencemar udara secara spasial homogen. Metode penempatan lokasi umumnya merupakan gabungan antara metode sistematis dengan kriteria lainnya. Venegas dan Mazzeo (2003) menentukan letak stasiun pemantau pada lokasi yang mempunyai konsentrasi pencemar udara melebihi baku mutu yang ditetapkan. Di samping itu Chang *et al* (2005) mengemukakan metode untuk mendesain jaringan pemantau untuk nilai ekstrem pencemar debu di Vancouver dengan model hierarki Bayes.

PENILAIAN LOKASI STASIUN PEMANTAU DI SURABAYA

Konsentrasi pencemar udara PM_{10} tertinggi terjadi pada jam 8. Peta prediksi spasial PM_{10} dari model spatio-temporal pada jam 8 tanggal 19 Mei 2002, 22 Juli 2002, 31 Agustus 2002, dan rata-ratanya

masing-masing disajikan pada Gambar 1(a), 1(b), 1(c), dan 1(d). Jarak antar lima stasiun pemantau di Surabaya disajikan pada Tabel 1.

Dari Gambar 1(a) sampai 1(d) tampak SUF-1 dan SUF-3 terletak pada garis kontur 140 atau antara garis kontur 140 dengan 150, sedangkan SUF-2, SUF-4, dan SUF-5 terletak pada garis kontur lebih dari 190. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi PM_{10} di sekitar SUF-1 dan SUF-3 masih berada di bawah baku mutu, sedangkan konsentrasi PM_{10} pada SUF-2, SUF-4, dan SUF-5 telah melampaui baku mutu. Bila ditinjau dari batas baku mutu konsentrasi PM_{10} , maka penempatan SUF-1 dan SUF-3 kurang efisien, sehingga kedua SUF ini dapat dipertimbangkan untuk dipindahkan pada lokasi lain.



Gambar 1. Prediksi spasial PM_{10} dari model spatio-temporal pada jam 8 (a) tanggal 19 Mei 2002, (b) 22 Juli 2002, (c) 31 Agustus 2002; dan (d) Rata-rata (Keterangan : Nilai untuk Longitude ditambah 112 dan Latitude ditambah 7)

Tabel 1. Jarak antar Lima SUF di Surabaya (km)

SUF	1	2	3	4	5
1	0	4.57	5.64	6.38	3.08
2	4.57	0	5.73	10.41	7.20
3	5.64	5.73	0	7.44	8.50
4	6.38	10.41	7.44	0	6.41
5	3.08	7.20	8.50	6.41	0

Konsentrasi PM_{10} di sekitar lokasi SUF-4 cukup tinggi dan menyebar sepanjang bujur timur Kota Surabaya. Demikian juga keragaman prediksi spasial pada lokasi ini cukup besar. Stasiun pemantau yang diletakkan pada lokasi ini hanya satu, sedangkan jarak sensitifitas sensor

pada stasiun pemantau kualitas udara hanya 5 km. Sehingga pada area disekitar SUF-4 perlu ditambahkan stasiun pemantau untuk meningkatkan ketelitian prediksi spasial.

Jarak antara SUF-1 dengan SUF-5 paling dekat. Demikian juga jarak antara SUF-1 dengan SUF-2 juga dekat. Bila ditinjau dari jarak sensitifitas sensor, lokasi SUF-1 kurang efisien penempatannya dan dapat dipertimbangkan untuk dipindahkan pada lokasi lain. Sedangkan jarak antara SUF-2 dan SUF-5 sekitar 7.2 km melebihi jarak sensitifitas sensor. Untuk meningkatkan ketelitian sebaiknya salah satu SUF tersebut dipindahkan

PROSEDUR PENENTUAN LOKASI JARINGAN PEMANTAU

Berdasarkan penilaian terhadap prediksi spasial konsentrasi PM_{10} pada jam 8 dan jarak sensitifitas sensor dari stasiun pemantau, maka perlu dilakukan realokasi lima SUF di kota Surabaya. Dari uraian di atas dapat disarikan bahwa SUF-1 dan SUF-3 sebaiknya dipindahkan ke lokasi lain. Pada area sekitar SUF-4 perlu ditambahkan satu stasiun pemantau. Lokasi SUF-2 atau SUF-5 dipindahkan, misalkan ditetapkan SUF-5 akan dipindahkan ke lokasi lain.

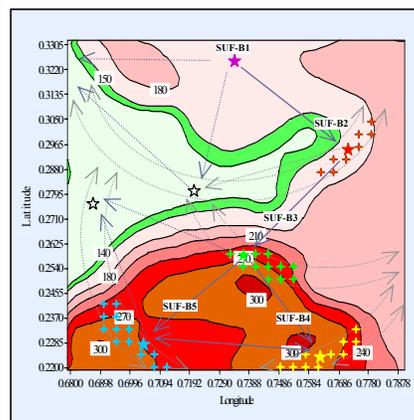
Penentuan jarak antar lokasi stasiun baru disamping mempertimbangkan jarak sensitifitas sensor juga mempertimbangkan nilai korelasi spasial. Dari plot korelasi spasial diketahui nilai korelasi spasial PM_{10} pada jarak 4.5 km sebesar 0.49 dan pada jarak 5.5 km sebesar 0.40 (Djuraidah dan Aunuddin, 2006b). Karena korelasi spasial pada jarak 4.5 km sampai 5.5 km nilainya kecil, maka ditetapkan jarak antar lokasi stasiun baru sebesar 4.5 km sampai 5.5 km. Di samping kriteria ini, stasiun pemantau ditempatkan pada area yang mempunyai konsentrasi PM_{10} lebih dari 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ agar efisien. Misalkan C menyatakan konsentrasi PM_{10} . Tahapan penentuan lokasi stasiun baru di kota Surabaya disajikan pada Gambar 2, yaitu :

1. Dari lokasi SUF-2 (selanjutnya disebut dengan SUF-B1) ditentukan area dengan radius 4.5 sampai 5.5 km dan mempunyai $C > 150$. Agar penempatan lokasi stasiun efisien, maka pada area yang memenuhi kriteria ini dipilih lagi area yang mempunyai konsentrasi tertinggi. Pada area yang terpilih dibuat grid berukuran 0.5 km x 0.5 km. Lokasi SUF-B2 dipilih secara acak dari 9 titik contoh yang mempunyai $150 < C < 180$.
2. Dari SUF-B2 ditentukan lokasi SUF lainnya yang berjarak 4.5 sampai 5.5 km terhadap

SUF-B1 dan SUF-B2 dan ternyata tidak terdapat lokasi yang mempunyai $C > 150$.

3. SUF-B3, ditentukan dengan cara yang sama pada tahap (1). Lokasi SUF-B3 dipilih secara acak dari 12 titik contoh yang mempunyai $C > 240$.
4. SUF-B4 dan SUF-B5 ditentukan seperti tahap (1) dengan ketentuan jarak antara SUF-B4 dan SUF-B5 adalah 4.5 sampai 5.5 km. Jumlah pasangan titik contoh yang memenuhi kriteria ini sebanyak 22 dan mempunyai $C > 240$. Kemudian satu pasang titik dipilih secara acak untuk menentukan lokasi SUF-B4 dan SUF-B5.
5. Dari SUF-B5 ditentukan lokasi SUF lainnya yang berjarak 4.5 sampai 5.5 km terhadap SUF-B3 dan SUF-B5 dan ternyata tidak terdapat lokasi yang mempunyai $C > 150$.

Jarak antara lokasi stasiun pemantau yang baru disajikan pada Tabel 2.



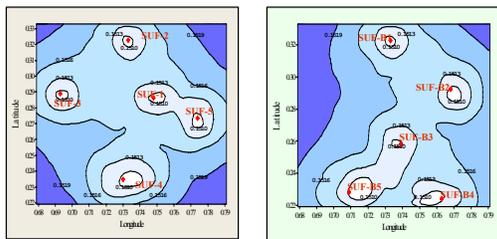
Gambar 2. Tahapan penentuan lokasi stasiun pemantau yang baru
(Keterangan : Nilai untuk Longitude ditambah 112 dan Latitude ditambah 7)

Tabel 2. Jarak antar Lima SUF Baru (km)

SUF	1	2	3	4	5
1	0	5.10	7.65	12.05	11.40
2	5.10	0	5.02	8.06	9.65
3	7.65	5.02	0	4.74	4.63
4	12.05	8.06	4.74	0	5.54
5	11.40	9.65	4.63	5.54	0

Pada lokasi konsentrasi PM_{10} tinggi diinginkan prediksi spasialnya mempunyai tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan pada lokasi konsentrasi PM_{10} rendah. Pola ragam spasial pada lima lokasi SUF yang saat ini beroperasi dan pada lokasi baru masing-masing disajikan pada Gambar 3(a) dan 3(b). Pada

Gambar 3(a) tampak ragam spasial pada lokasi sepanjang bujur timur SUF-4 tinggi padahal konsentrasi PM_{10} pada lokasi ini sangat tinggi dan beragam nilainya. Sedangkan pada Gambar 3(b) tampak pola ragam dari lokasi stasiun baru mempunyai ragam spasial yang rendah pada lokasi konsentrasi PM_{10} tinggi, dan sebaliknya. Sehingga pola ragam spasial pada lokasi baru dapat meningkatkan ketelitian prediksi spasial terutama pada lokasi konsentrasi PM_{10} tinggi. Dalam pelaksanaan di lapangan, lokasi stasiun baru ini perlu ditinjau kembali kelayakan lokasinya. Sesuai dengan tujuan dari jaringan pemantau, maka sebaiknya stasiun ditempatkan pada area pemukiman.



Gambar 3. Pola ragam spasial dari (a) SUF asli (b) SUF baru
(Keterangan : Nilai untuk Longitude ditambah 112 dan Latitude ditambah 7)

KESIMPULAN

Optimasi pada lima SUF di kota Surabaya menghasilkan lokasi SUF baru yang terletak pada area dengan konsentrasi PM_{10} melebihi batas baku mutu. Jarak antar lokasi SUF baru yang berdekatan memenuhi kriteria sensitifitas sensor pada stasiun pemantau. Optimasi penempatan lima stasiun pemantau di kota Surabaya dapat meningkatkan ketelitian prediksi spasial terutama pada lokasi konsentrasi PM_{10} tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Boer EPJ, Dekkers ALM, Stein A. 2002. Optimization of a Monitoring Network for Sulfur Dioxide. *Journal of Environmental Quality* 31:121-128

Chang H, Fu AQ, Le ND, Zidek JV. 2005. Designing Environmental Monitoring Networks for Measuring Extremes. *Samsi, Technical Report #2005-4, March 26, 2005.*

Djuraidah A, Aunuddin. 2006a. Estimation of Spatio-temporal Additive Model Using Linear Mixed Model Approach with Application to Ozone Data in Surabaya.

Proceedings of The first International Conference on Mathematics and Statistics, Bandung, June 19 - 21, 2006 (akan diterbitkan).

Djuraidah A, Aunuddin. 2006b. Kriging dan Thin-Plate Spline dengan Pendekatan Model Campuran. *Matematika Integratif Jurnal Matematika FMIPA-UNPAD* 5(2):1-12.

Gaál M, et al. 2004. Simulations to evaluate optimal construction of monitoring networks. *Applied Ecology and Environmental Research* 2(2):59-71.

Kompas. 19 Februari 2001. *Surabaya, Neraka bagi Anak.*

Media Indonesia. 4 Januari 2005. *Polusi Udara di Surabaya Rusak Kesehatan.*

Morawska K, Vishvakarman D, Mengersen K, Thomas S. 2002. Spatial variation of airborne pollutant concentrations in Brisbane, Australia and its potential impact on population exposure assessment. *Atmospheric Environment* 36:3545-3555.

Pelangi on line. 2003. *Udara bersih hak kita bersama.* [terhubung berkala]. <http://www.pelangi.or.id>.

Peraturan Pemerintah RI No. 41 Tahun 1999. *Pengendalian Pencemaran Udara.*

Raffuse SM, et al. 2005. *Analytical Techniques for Technical Assessments of Ambient Air Monitoring Networks.* Guidance Document STI-905104.02-2805-GD September 2005. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency by Sonoma Technology. [terhubung berkala]. <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/criteria/nettech.pdf>.

Saksena S, Joshi V, Patil RS. 2002. Determining spatial patterns in Delhi's ambient air quality data using cluster analysis. *East-West Center Working Papers: Environment Series* 53:1-33. [terhubung berkala]. <http://www.EastWestCenter.org>.

[SARPEDAL KLH] Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. *Air Quality Monitoring 2003.* Jakarta : KLH.

[USEPA] U.S. Environmental Protection Agency. 2003. *Region 5 network assessment.* Presented at the Air Monitoring & Quality Assurance Workshop, Atlanta, CA, September 9-11 by the U.S. Environmental Protection Agency, Region 5. [terhubung berkala]

<http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pm25/workshop/atlanta/r5netas.pdf>

Venegas LE, Mazzeo NA. 2003. Design methodology for background air pollution monitoring site selection in an urban area. *Int J Environ Poll* 20:185-195.

Watson JG, et al. 1997. *Guidance for Network Design and Optimum Site Exposure for PM_{2.5} and PM₁₀*. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency by Desert Research Institute of the University and Community College System of Nevada.

