TUGAS AKHIR – KS184822

ESTIMASI KONSENTRASI NITROGEN DIOKSIDA (NO_2) DAN SULFUR DIOKSIDA (SO_2) PADA KUALITAS UDARA AMBIEN KOTA SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN INTERPOLASI COKRIGING

YUNIAR DEWI SAFITRI
NRP 062116 4000 0041

Dosen Pembimbing
Dr. Sutikno S.Si., M.Si.
Dr. Bambang Widjanarko Otok, M.Si.

PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020

TUGAS AKHIR – KS184822

ESTIMASI KONSENTRASI NITROGEN DIOKSIDA (NO_2) DAN SULFUR DIOKSIDA (SO_2) PADA KUALITAS UDARA AMBIEN KOTA SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN INTERPOLASI COKRIGING

YUNIAR DEWI SAFITRI
NRP 062116 4000 0041

Dosen Pembimbing
Dr. Sutikno S.Si., M.Si.
Dr. Bambang Widjanarko Otok, M.Si.

PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

FINAL PROJECT – KS184822

ESTIMATION OF NITROGEN DIOXIDE (NO_2) AND SULFUR DIOXIDE (SO_2) CONCENTRATIONS IN AMBIENT AIR QUALITY IN SURABAYA USING COKRIGING INTERPOLATION

YUNIAR DEWI SAFITRI
SN 062116 4000 0041

Supervisors
Dr. Sutikno S.Si., M.Si.
Dr. Bambang Widjanarko Otok, M.Si.

UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALYTICS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

LEMBAR PENGESAHAN
ESTIMASI KONSENTRASI NITROGEN DIOKSIDA (NO_2) DAN SULFUR DIOKSIDA (SO_2) PADA KUALITAS UDARA AMBIEN KOTA SURABAYA DENGAN PENDEKATAN INTERPOLASI COKRIGING

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Statistika
pada
Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Yuniar Dewi Safitri
NRP. 062116 4000 0041

Disetujui oleh Pembimbing:
Dr. Sutikno, S.Si., M.Si. ( )
NIP. 19710313 199702 1 001
Dr. Bambang Widjanarko Otok, M.Si. ( )
NIP. 19681124 199412 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Statistika

Dr. Dra. Kartika Fithriasari, M.Si
NIP. 19691212 199303 2 002
SURABAYA, Juni 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

Estimasi Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO_2) dan Sulfur Dioksida (SO_2) pada Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya dengan Pendekatan Interpolasi Cokriging

Nama Mahasiswa	**: Yuniar Dewi Safitri**
NRP	**: 062116 4000 0041**
Departemen	**: Statistika-FSAD-ITS**
Dosen Pembimbing	**: Dr. Sutikno, S.Si, M.Si**
	Dr. Bambang Widjanarko Otok, M.Si.

Abstrak

Kota Surabaya dengan jumlah penduduk tiga juta jiwa dan mobilitas penduduk yang terus meningkat mengakibatkan penurunan pada kualitas udara. Kendaraan bermotor dan penggunaan bahan bakar di industri merupakan salah satu faktor yang berkontribusi besar dalam pencemaran udara. Emisi gas nitrogen dioksida (NO_2) dari kendaraan bermotor dan gas sulfur dioksida (SO_2) dari hasil pembakaran di industri juga berpotensi mengganggu kesehatan pernafasan manusia. Adanya perbedaan konsentrasi polutan serta keterbatasan titik sampling menjadi masalah dalam pengumpulan data yang akurat dan penentuan status kualitas udara di Kota Surabaya. Pendekatan interpolasi dilakukan untuk mengestimasi konsentrasi NO_2 dan SO_2 pada lokasi yang tidak terukur. Pada penenlitian ini, digunakan metode ordinary cokriging dengan dua variabel yang diamati untuk meningkatkan akurasi. Selain itu juga dilakukan transformasi untuk mengatasi data outlier dan masalah normalitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa estimasi konsentrasi NO_2 dan SO_2 terbaik diperoleh dengan menggunakan model semivariogram anisotropi yang dipengaruhi oleh arah angin dari sudut 110°. Model semivariogram teoritis terpilih untuk konsentrasi NO_2 dan SO_2 adalah Gaussian dan Spherical. Hasil interpolasi dengan ordinary cokriging pada peta kontur konsentrasi NO_2 menunjukkan skala interval yang lebih tinggi dari ambang batas normal.

Kata Kunci: Anisotropi, Cokriging, Nitrogen Dioksida, Semivariogram, Sulfur Dioksida

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

ESTIMATION OF NITROGE DIOXIDE (NO_2) AND SULFUR DIOXIDE (SO_2) CONCENTRATIONS IN AMBIENT AIR QUALITY IN SURABAYA USING COKRIGING INTERPOLATION

Name : Yuniar Dewi Safitri
Student Number : 062116 4000 0041
Department : Statistics
Supervisors : Dr. Sutikno, S.Si, M.Si
Dr. Bambang Widjanarko Otok, M.Si.

Abstract

With a population of three million people and increasing population mobility, the city of Surabaya is now facing a decrease in air quality. Emissions of Nitrogen Dioxide (NO_2) from motor vehicles and Sulfur Dioxide (SO_2) from combustion products in industry also have the potential to disrupt human respiratory health. The difference in the concentration of pollutants and the limitations of sampling points become a problem inaccurate data collection and the determination of air quality status in Surabaya. An interpolation approach was used to estimate the concentrations of NO_2 and SO_2 at unmeasured locations. In this research, ordinary cokriging method with two observed variables is used to improve accuracy. In addition, a transformation was made to overcome outlier data and normality problems. The results show that the best estimation of NO_2 and SO_2 concentrations was obtained by using anisotropic semivariogram model which was influenced by wind direction from 110 degree angle. The theoretical semivariogram models chosen for NO_2 and SO_2 concentrations are Gaussian and Spherical. The results of the interpolation with ordinary cokriging on the NO_2 concentration contour map show an interval scale that is higher than the normal threshold.

Keywords: Anisotropy, Cokriging, Nitrogen Dioxide, Semivariogram, Sulfur Dioxide

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan semesta alam, atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya. Atas ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **"Estimasi Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO_2) dan Sulfur Dioksida (SO_2) pada Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya dengan Pendekatan Interpolasi Cokriging"**.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan berbagai pihak baik berupa dukungan moril, dan materil. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang penulis sayangi, Bapak Soedarmanto dan Ibu Moernah yang telah mengirimkan do'a yang tiada hentinya dan kasih yang tulus terhadap penulis. Serta saudara penulis,, Kak Rahmat, yang selalu memberi semangat dan dukungan materil kepada penulis.
2. Bapak Dr. Sutikno, S.Si, M.Si. dan Bapak Dr. Bambang Widjanarko Otok, M.Si. selaku dosen pembimbing saya. Terima kasih atas segala bimbingan ajaran, dan ilmu-ilmu baru yang penulis dapatkan dari selama penyusunan Tugas Akhir ini. Dan bersedia menyediakan waktunya untuk membimbing, menuntun, memberikan motivasi, dan nasihat yang bermanfaat bagi penulis. Terimakasih dan mohon maaf apabila ada kesalahan yang telah penulis lakukan.
3. Ibu Dr. Kartika Fitriasari, M.Si. selaku Kepala Departemen Statistika dan Ibu Dr. Santi Wulan Purnami selaku Sekretaris I Departemen Statistika yang telah menyediakan fasilitas untuk mendukung kelancaran penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Jerry Dwi T. P., S.Si, M.Si, PhD. dan Bapak Dr. Purhadi, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Sutikno, S.Si, M.Si. selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan dan wawasan seputar akademik.

6. Seluruh dosen Departemen Statistika ITS yang telah memberikan ilmu selama penulis menempuh Pendidikan, beserta seluruh karyawan Departemen Statistika ITS yang telah membantu kelancaran dan kemudahan dalam pelaksanaan kegiatan perkuliahan.
7. Teman-teman serta semua pihak yang membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir baik dalam bentuk dukungan moril atau materil yang tak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna dikarenakan terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan bahkan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak.

Surabaya, Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL ii
COVER PAGE iv
LEMBAR PENGESAHAN vi
ABSTRAK viii
ABSTRACT x
KATA PENGANTAR xii
DAFTAR ISI xv
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR TABEL xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 5
1.3 Tujuan 5
1.4 Manfaat 5
1.5 Batasan Masalah 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Statistika Deskriptif 7
2.2 Data Spasial 7
2.3 Variabel Teregional 9
2.4 Stasioneritas 11
2.4.1 Stasioner Kuat 11
2.4.2 Stasioner Orde Dua 11
2.4.3 Stasioner Intrinsik 12
2.5 Variogram dan Semivariogram 12
2.5.1 Sifat-sifat Semivariogram 13
2.5.2 Semivariogram Eksperimental 15
2.5.3 Semivariogram Teoritis 15
2.6 Interpolasi 17
2.7 Metode Kriging 17
2.8 Metode Cokriging 18

2.8.1 Pemilihan Variabel Sekunder 18
2.8.2 Pembobotan Cokriging 19
2.9 *Cross Variogram* 21
2.10 *Cross Validation* 22
2.11 Pencemaran Udara 24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 26
3.1 Sumber Data 26
3.2 Variabel Penelitian 26
3.3 Langkah Analisis Data 28

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN 31
4.1 Karakteristik 5 Parameter Kualitas Udara Ambien Hasil AQMS Kota Surabaya 2019 31
4.2 Estimasi Konsentrasi SO_2 dan NO_2 dengan Metode Cokriging 36
4.2.1 Hubungan Antara Konsentrasi SO_2 dan NO_2 36
4.2.2 Pengujian Normalitas dan Deteksi *Outlier* 37
4.2.3 Pengujian Stasioneritas 39
4.2.4 Analisis Stuktural Semivariogram dan *Cross Variogram* Eksperimental Terhadap Semivariogram Teoritis untuk Mengestimasi Konsentrasi SO_2 40
4.2.5 Analisis Stuktural Semivariogram dan *Cross Variogram* Eksperimental Terhadap Semivariogram Teoritis untuk Mengestimasi Konsentrasi NO_2 44
4.2.6 *Cross Validation* Hasil Semivariogram Isotropi dan Anisotropi Terpilih 48
4.2.7 Hasil Estimasi Konsentrasi SO_2 dan NO_2 Menggunakan Interpolasi Cokriging 50

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 55
5.1 Kesimpulan 55
5.2 Saran 55

DAFTAR PUSTAKA 56

LAMPIRAN 59
BIODATA PENULIS 70

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Contoh Semivariogram Eksperimental 14
Gambar 3.1 Lokasi Pengambilan Sampel 26
Gambar 3.2 Gray Wolf Toxic Test Meter 27
Gambar 3.3 Diagram Alir 30
Gambar 4.1 Pola Persebaran Konsentrasi Lima Parameter Kualitas Udara Ambien di SUF 6 33
Gambar 4.2 Konsentrasi SO_2 dan NO_2 di SUF 6..... 34
Gambar 4.3 Konsentrasi SO_2 dan NO_2 di 17 Lokasi Pemantauan Udara Berkala di Kota Surabaya..... 35
Gambar 4.4 Pengujian Normalitas Konsentrasi SO_2 dan Konsentrasi NO_2 37
Gambar 4.5 *Boxplot* Konsentrasi SO_2 dan Konsentrasi NO_2 .. 38
Gambar 4.6 Pengujian Normalitas Hasil Transformasi Konsentrasi SO_2 dan NO_2..... 38
Gambar 4.7 *Boxplot* Hasil Transformasi Konsentrasi SO_2 dan Konsentrasi NO_2..... 39
Gambar 4.8 Pengujian Stasioneritas dengan Plot 3 Dimensi Konsentrasi SO_2 dan NO_2..... 39
Gambar 4.9 Pengujian Stasioneritas dengan Plot 2 Dimensi Konsentrasi SO_2 dan NO_2..... 40
Gambar 4.10 Semivariogram dan Cross Variogram Isotropi Konsentrasi SO_2 dan NO_2..... 42
Gambar 4.11 Semivariogram dan Cross Variogram Anisotropi Konsentrasi SO_2 dan NO_2..... 44
Gambar 4.12 Semivariogram dan Cross Variogram Isotropi Konsentrasi NO_2 dan SO_2..... 46
Gambar 4.13 Semivariogram dan Cross Variogram Anisotropi Konsentrasi NO_2 dan SO_2..... 48
Gambar 4.13 Perbandingan Data Asli dengan Hasil Estimasi Isotropi dan Anisotropi pada Konsentrasi NO_2 dan SO_2 49

Gambar 4.14 Hasil Interpolasi Cokriging Konsentrasi SO_2 Menggunakan Semivariogram Anisotropi *Spherical* 49
Gambar 4.15 Hasil Interpolasi Cokriging Konsentrasi NO_2 Menggunakan Semivariogram Anisotropi *Gaussian*..... 52

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Kriteria Batas Polutan Penting dari 6 Pencemar Utama 25
Tabel 3.1 Variabel Penelitian 27
Tabel 3.2 Data Penelitian 28
Tabel 4.1 *Missing Value* Kelima Parameter di Tiga Lokasi AQMS Tahun 2019 32
Tabel 4.2 Karakteristik Lima Parameter Kualitas Udara Ambien di Wonorejo 33
Tabel 4.3 Nilai Parameter Semivariogram dan *Cross Variogram* Isotropi Konsentrasi SO_2 41
Tabel 4.4 Nilai Parameter Semivariogram dan *Cross Variogram* Anisotropi Konsentrasi SO_2 43
Tabel 4.5 Nilai Parameter Semivariogram dan *Cross Variogram* Isotropi Konsentrasi NO_2 45
Tabel 4.6 Nilai Parameter Semivariogram dan *Cross Variogram* Anisotropi Konsentrasi NO_2 47
Tabel 4.7 Hasil *Cross Validation* Data Asli dengan Hasil Estimasi Konsentrasi SO_2 dan NO_2 Menggunakan Semivariogram Isotropi dan Anisotropi 49
Tabel 4.8 Hasil Interpolasi Cokriging Konsentrasi SO_2 di Beberapa Lokasi yang Ingin Diketahui 51
Tabel 4.9 Hasil Interpolasi Cokriging Konsentrasi NO_2 di Beberapa Lokasi yang Ingin Diketahui 53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran udara dewasa ini semakin menampakkan kondisi yang sangat memprihatinkan. Sumber pencemaran udara dapat berasal dari berbagai kegiatan antara lain industri, transportasi, perkantoran, dan perumahan. Berbagai kegiatan tersebut merupakan kontribusi terbesar dari pencemar udara yang dibuang ke udara bebas. Sumber pencemaran udara juga dapat disebabkan oleh berbagai kegiatan alam, seperti kebakaran hutan, gunung meletus, gas alam beracun, dan lain-lain. Dampak dari pencemaran udara tersebut adalah menyebabkan penurunan kualitas udara yang berdampak negatif terhadap kenyamanan, kesehatan dan bahkan keseimbangan iklim global.

World Health Organization (WHO) telah memperingatkan bahaya pencemaran udara yang ternyata sering diabaikan oleh pemerintah dan masyarakat. Memburuknya kualitas udara merupakan proses yang bersifat *silent destruction* terhadap hasil-hasil pembangunan. Selain itu, pencemaran udara juga memberikan kontribusi yang cukup signifikan terhadap pemanasan global. Dari segi kesehatan, pencemaran udara merupakan *silent killer* yang harus segera diantisipasi. Penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Atas (ISPA) yang sebagian besar diakibatkan oleh masalah kualitas udara, menjadi kasus penyakit tertinggi yang diderita oleh masyarakat di kota-kota besar khususnya Surabaya.

Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 39 tahun 2008 menyatakan bahwa pencemaran udara terjadi karena masuknya atau dimasukkannya zat, energi, atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, mahkluk hidup, dan unsur lingkungan lainnya. Dalam keadaan normal udara

ambien ini akan terdiri dari gas nitrogen (78%), oksigen (20%), argon (0,93%), dan gas karbon dioksida (0,03). Indonesia telah mengatur ambang batas zat, energi dan/atau komponen lainnya. Adapun parameter yang digunakan diantaranya sulfur dioksida (SO_2), karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO_2), ozon (O_3), hidrokarbon (HC), timbal (Pb), dan partikel debu (*dustfall*), dengan masing-masing ambang batasnya sudah diatur dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 10 Tahun 2009. Pengukuran kualitas udara ambien di Kota Surabaya dibagi berdasarkan enam kawasan, yaitu di kawasan transsportasi atau jalan-jalan besar, kawasan industri, kawasan permukiman, kawasan perkantoran, kawasan perbelanjaan serta kawasan sekolah/kampus.

Di kota-kota besar khususnya Surabaya, kendaraan bermotor dengan bahan bakar merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kualitas udara di perkotaan. Apabila tidak dilakukan pemantauan dan pengawasan secara berkala, maka akan berbanding lurus dengan tingkat pencemaran udara. Menurut Kusuma (2010) menyatakan bahwa kontribusi pencemaran udara yang berasal dari sektor transportasi mencapai 60%, dimana kendaraan bertanggung jawab 25 % dari emisis karbon CO_2 (Carbon Dioksida), 90% dari karbon oksida (CO) dan 50 % dari oksida nitrogen (NOx) yang dihasilkan emisi di seluruh dunia. Berdasarkan data dari IKPLHD Kota Surabaya, jumlah kendaraan berbahan bakar bensin pada tahun 2017 mencapai 2.612.746 unit dan 164.993 unit untuk bahan bakar solar. Salah satu sumber pencemar udara yang mempengaruhi kualitas udara ambien yaitu senyawa kimia gas nitrogen dioksida (NO_2). Sumber utama NO_2 yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran yang sebagian besar disebabkan oleh kendaraan bermotor, produksi energi, dan pembuangan sampah. Tingginya NO_2 di udara dapat bersifat racun bagi paru-paru dan dapat menyebabkan kekejangan serta kelumpuhan pada sistem syaraf. Selain bahan bakar yang digunakan oleh kendaraan bermotor, bahan bakar (terutama solar) dimanfaatkan oleh kegiatan industri, terdapat 24 industri yang

tercatat menggunakan bahan baku solar pada tahun 2017. Pada kawasan industri ini sendiri parameter yang perlu diperhatikan adalah SO_2 karena kadar SO_2 yang tinggi di udara telah diketahui dapat mengakibatkan potensi terjadinya hujan asam (Dodi, 2004). Sumber pencemaran SO_2 paling banyak didapatkan dari pembakaran bahan bakar fosil, misalnya pembakaran arang, batu bara, minyak bakar gas, kayu, dan kegiatan industri. Oleh karena itu, konsentrasi NO_2 dan SO_2 merupakan parameter yang digunakan dalam perhitungan Indeks Kualitas Udara (IKU) oleh Pemerintah Kota Surabaya dalam rangka melakukan pemantauan dan pengawasan kualitas udara (Alemi dkk, 1988).

Pemantauan dan pengawasan kualitas udara yang dilakukan oleh Pemerintah Kota Surabaya terbagi menjadi beberapa langkah diantaranya adalah dengan monitoring udara ambien otomatis melalui *Air Ambien Quality Monitoring System* (AQMS) dan monitoring udara ambien berkala (non AQMS). Namun informasi tentang konsentrasi polutan udara di Kota Surabaya masih terbilang kurang karena hanya berasal dari tiga lokasi stasiun pemantauan udara ambien tetap (SUF) untuk mewakili seluruh wilayah Kota Surabaya. Sedangkan untuk melakukan penelitian terhadap pencemaran udara dibutuhkan data yang cukup dan dapat diandalkan sehingga dapat menggambarkan kondisi seluruh wilayah kota. Oleh karena itu, perlu dilakukan interpolasi untuk mengumpulkan jumlah titik-titik minimum dan mengestimasi data di lokasi yang tidak diambil sampelnya tanpa mengorbankan akurasi data (Memarsadeghi, 2004).

Metode statistik berguna untuk mengembangkan kajian kualitatif pada berbagai fenomena alam dan menjawab permasalahan kuantitatif terhadap permasalahan khusus. Selain itu, geostatistik berperan penting dalam menjelaskan kontinuitas spasial yang menjadi unsur penting dalam berbagai fenomena alam (Isaaks dan Srivastava, 1989). Metode interpolasi yang dapat menangkap efek geostatistik adalah interpolasi kriging dan cokriging. Kriging adalah teknik interpolasi linier yang menggunakan autokorelasi spasial antar pengamatan untuk

mengestimasi variabel di lokasi yang tidak diambil sampelnya dengan varians minimum dan *unbiased*. Sedangkan cokriging adalah perluasan kriging untuk kasus geostatistik multivariat dimana terdapat variabel sekunder yang dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi estimasi kriging.

Metode cokriging dianggap lebih efektif dibandingkan metode kriging. Penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan oleh Alemi dkk (1988), Wackernagel (1994), Yalcin (2005), dan Rucker (2010) adalah membandingkan *ordinary* kriging dan cokriging. Hasil yang didapatkan adalah nilai varians estimasi, validasi silang, dan bias residual pada metode cokriging lebih kecil daripada *ordinary* kriging. Rachmawati (2009) juga melakukan perbandingan metode *ordinary* kriging dan cokriging dengan menambahkan pengaruh arah angin (anisotropi) untuk menduga kadar NO_2 di Bogor. Hasil yang diperoleh adalah nilai RMSE pada pendugaan dengan metode cokriging dengan sudut anisotropi 135° lebih kecil dibandingkan dengan metode *ordinary* kriging. Selain itu, Setiyowati (2015) juga menggunakan cokriging untuk menginterpolasi konsentrasi SO_2 dan NO_2 di DKI Jakarta namun belum mempertimbangkan arah angin. Sedangkan penelitian pencemaran udara di Kota Surabaya menggunakan cokriging pernah dilakukan oleh Putri (2013) untuk mengestimasi kadar NO_2 dan CO dengan mempertimbangkan arah angin (cokriging anisotropi) dan tidak mempertimbangkan arah angin (isotropi). Namun hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa estimasi cokriging anisotropi tidak lebih baik dari estimasi cokriging isotropi. Nayyiroh (2016) juga melakukan estimasi pada kadar CO dan NO_2 dengan cokriging dan mendapatkan hasil estimasi yang lebih baik untuk cokriging anisotropi dibandingkan dengan cokriging isotropi. Namun hasil estimasi yang diperoleh belum memperhatikan pemenuhan asumsi stasioneritas orde dua. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi konsentrasi polutan udara khususnya NO_2 dan SO_2 pada lokasi yang tidak diambil sampelnya dengan metode cokriging tanpa mempertimbangkan arah angin (isotropi) dan dengan

mempertimbangkan arah angin (anisotropi). Setelah dilakukan estimasi, diharapkan dapat diperoleh model estimasi yang mendekati keadaan riil untuk mengetahui kondisi pencemaran udara di Kota Surabaya di titik-titik tertentu.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, adapun permasalahan yang dirumuskan adalah bagaimana mendapatkan estimasi konsentrasi NO_2 dan SO_2 pada kualitas udara ambien di Kota Surabaya menggunakan metode Cokriging di beberapa lokasi yang ingin diketahui.

1.3 Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah di atas, adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan estimasi konsentrasi NO_2 dan SO_2 pada kualitas udara ambien di Kota Surabaya menggunakan metode Cokriging di beberapa lokasi yang ingin diketahui.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan pada hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan tentang metode interpolasi cokriging dalam studi kasus estimasi kualitas udara ambien di Kota Surabaya.
2. Sebagai sumber informasi bagi Pemerintah Kota Surabaya tentang tingkat pencemaran udara di titik-titik tertentu, sehingga dapat dilakukan langkah langkah preventif dan represif dalam menangani pencemaran udara tersebut.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan permasalahan pada penelitian ini adalah data yang digunakan merupakan data konsentrasi gas NO_2 dan SO_2 tahun 2019 yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Surabaya di 17 (tujuh belas) titik lokasi yaitu mewakili daerah permukiman, kantor, sekolah/kampus, industri, jalan-jalan besar, dan pusat perbelanjaan dengan asumsi kondisi udara di Kota

Surabaya bersifat homogen. Pengukuran dilakukan dari bulan Agustus sampai Desember 2019 per 24 jam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif adalah suatu metode yang berkaitan dengan pengumpulan dan penyajian suatu gugus data, sehingga memberikan informasi yang berguna. Statistika deskriptif sering disebut sebagai Statistika deduktif yang membahas tentang bagaimana merangkum data dalam bentuk yang mudah dibaca dan cepat memberikan informasi, yang disajikan dalam bentuk tabel, grafik, nilai pemusatan data dan nilai penyebaran data (Walpole, 1995). Dalam mengambil data, sangat kecil kemungkinan untuk memperoleh seluruh data dari populasi. Bahkan dalam beberapa kasus, pengambilan data keseluruhan dapat merusak populasi tersebut (misalnya mencicipi rasa masakan). Sebagai solusinya, dilakukan pengambilan sampel yang diharapkan dapat mewakili parameter dari populasi tersebut. Parameter yang biasa digunakan adalah rata-rata dan ragam. Dalam statistika klasik, pengambilan data selalu mengasumsikan bahwa kejadian yang diamati diambil berdasarkan kondisi yang sama dan saling bebas satu dengan yang lain. Data berbentuk sampel acak, berdistribusi saling bebas dan identik (*independent identically distributed*). Pada kenyataannya, kejadian yang diamati tidak selalu memenuhi asumsi tersebut, misalnya pada kasus data spasial, maka statistika klasik tidak dapat digunakan.

2.2 Data Spasial

Data spasial merupakan data yang disajikan dalam posisi geografis dari suatu obyek yang berkaitan dengan lokasi. Dalam proses pengumpulan datanya diperoleh dari lokasi spasial yang berbeda dan menunjukkan adanya dependensi dalam pengukuran antar lokasi, sehingga diperlukan metode statistik khusus untuk membuat analisisnya (Cressie, 1991). Data spasial memiliki kaitan dengan data lainnya pada suatu ruang atau daerah tertentu. Ciri data spasial seperti lokasi nilai ekstrem, *trend* keseluruhan atau derajat

kontinuitas memberikan daya tarik yang besar untuk diteliti. Ciri spasial tidak dapat seluruhnya ditangkap oleh metode deskriptif *univariate* ataupun *bivariate* klasik namun dapat dilihat melalui visualisasi. Beberapa contoh visualisasi yaitu data postings, peta kontur, peta simbol, peta indikator, *moving window statistics* dan yang lainnya (Isaaks dan Srivastava, 1989). Penyajian data geografis dilakukan dengan menggunakan titik, garis, dan luasan. Data spasial berupa data diskrit atau kontinu dan dapat juga memiliki lokasi spasial beraturan (regular) maupun tak beraturan (*irrengular*). Data spasial dikatakan mempunyai lokasi yang regular jika antara lokasi yang saling berdekatan satu sama lain mempunyai posisi yang beraturan dengan jarak yang sama besar. Sedangkan dikatakan *irregular* ketika lokasi yang saling berdekatan satu dengan yang lain mempunyai posisi yang tidak beraturan dengan jarak yang berbeda (Alfiana, 2010).

Menurut Cressie (1993), proses spasial secara teori dapat diuraikan sebagai berikut. Daerah pengamatan dinotasikan sebagai D dimana $D \equiv \{(x_i, y_i); i = 1, 2, \ldots, n\}$. Misalkan $\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \ldots, \mathbf{s}_n$ adalah titik-titik lokasi pada daerah pengamatan dengan data koordinat *longitude* (x_i) dan *latitude* (y_i) dimana $\mathbf{s} \in R^n$. Secara stokastik, anggap $Z(\mathbf{s})$ sebagai variabel acak, dimana $Z(\mathbf{s}_i)$ adalah hasil pengukurannya sehingga proses spasial dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\{Z(\mathbf{s}_i) : \mathbf{s}_i \in D\} \tag{2.1}$$

Pada daerah pengamatan, variabel acak berkorelasi secara spasial sehingga pengukuran yang berdekatan cenderung lebih mirip nilainya daripada pengukuran yang berjauhan. Secara statistik, variabel acak yang berdekatan lebih berkorelasi daripada variabel acak yang berjauhan. Misalkan, lokasi $\mathbf{s}_i$ dan $\mathbf{s}_j$ terpisah dengan jarak vektor **h** dimana **h** termasuk nilai dan juga arahnya, sehingga dua lokasi dinyatakan oleh **s** dan $(\mathbf{s} + \mathbf{h})$. Secara umum data spasial dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada struktur data sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} x_1^1 & x_1^2 & x_1^3 & z_1^1 & z_1^2 & \cdots & z_1^N \\ x_2^1 & x_2^2 & x_2^3 & z_2^1 & z_2^2 & \cdots & z_2^N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_n^1 & x_n^2 & x_n^3 & z_n^1 & z_n^2 & \cdots & z_n^N \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

dengan,

x_i : koordinat data observasi untuk i = 1,2,...,n

z_i : parameter data observasi untuk i = 1,2,...,n

x^1 : absis

x^2 : ordinat

x^3 : elevasi

z^j : parameter yang terdapat pada observasi tertentu dimana j = 1,2,...,N

n : total jumlah sampel yang digunakan

N : jumlah variabel yang digunakan

2.3 Variabel Teregional

Menurut Matheron (1971), secara umum ketika suatu objek menyebar di daerah pengamatan dan mempunyai struktur spasial tertentu, maka hal ini disebut teregional (*regionalized*). Jika $f(\mathbf{s})$ menyatakan suatu nilai pada titik **s** dari karakteristik objek ini, maka $f(\mathbf{s})$ adalah suatu variabel teregional (*regionalized variables*). Secara matematika, variabel teregional secara sedehana merupakan fungsi $f(\mathbf{s})$ dari titik **s** tetapi secara umum merupakan fungsi yang sangat tidak beraturan (contoh : tingkatan cadangan mineral). Hal ini menunjukkan 2 (dua) aspek yang saling bertolak belakang atau kontradiksi sebagai berikut.

1) Aspek keacakan (*random aspect*), ditandai dengan ketidakberaturan lokal dan tidak bisa diduganya perubahan antara titik satu dengan titik lainnya.
2) Aspek terstruktur (*structured aspect*), ditandai dengan adanya karakteristik yang terstruktur atau adanya

kecenderungan dalam skala yang besar dari obyek yang teregional.

Teori variabel teregional mempunyai 2 (dua) tujuan yakni sebagai berikut.

1) Secara teori, untuk mengetahui sifat struktur yang sesuai dari obyek.
2) Secara terapan, untuk mengestimasi variabel teregional dari data sampel yang berbeda atau berada pada lokasi yang terpisah.

Kedua tujuan tersebut berhubungan terhadap obyek pengamatan pada lokasi yang sama dan galat estimasi bergantung pada struktur karakteristik. Galat estimasi akan bertambah besar jika variabel teregional lebih tidak beraturan dan lebih bersifat tidak kontinu pada varians spasialnya (Matheron, 1971).

Penggunaan variabel teregional multivariat memungkinkan diukur dari lokasi yang berbeda. Menurut Wackernagel (1995), jenis variabel teregional multivariat berdasarkan dari lokasi pengambilan sampel dapat dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu :

1) *Complete heterotopy* : semua variabel teregional diukur dari himpunan titik sampel dan lokasi pengambilan sampel yang berbeda.
2) *Partial heterotopy* : beberapa variabel teregional diukur dari lokasi pengambilan sampel yang sama.
3) *Isotropy* : semua variabel teregional diukur dari lokasi pengambilan sampel yang sama.

Penggunaan *complete heterotopy* akan sulit dalam memutuskan model *cross variogram* atau *cross covariance* karena *cross variogram* eksperimental tidak bisa dihitung dari data *complete heterotopy*. Sedangkan yang dianjurkan untuk digunakan adalah *partial heterotopy* jika hal itu memungkinkan. Jenis variabel teregional multivariat yang paling sering digunakan dalam memutuskan model *cross variogram* atau *cross covariance* adalah *isotropy* (Wackernagel, 1995).

Menurut Isaaks dan Srivastava (1989), untuk mengukur variabilitas variabel teregionalisasi $Z(\mathbf{s})$ adalah dengan

menghitung jarak antara pasangan data, misal (x_i, y_i) dan (x_j, y_j), yang berlokasi di s_i dan s_j di domain spasial $\mathcal{D}$. Jarak antara kedua nilai tersebut dilambangkan γ^*.

$$\gamma_{ij} = \frac{\left(s_i - s_j\right)^2}{2} \tag{2.3}$$

2.4 Stasioneritas

Stasioneritas merupakan suatu syarat data geostatistik dapat dianalisis menggunakan kriging maupun cokriging. Data dikatakan bersifat stasioner jika tidak memiliki kecenderungan terhadap *trend* tertentu, atau data berada disekitar nilai rata-rata yang konstan tidak bergantung pada waktu dan variansnya . Ada 3 macam stasioneritas dalam geostatistik, yaitu stasioner kuat (*strict stasionarity*), stasioner orde dua (*covariance stasionarity*), dan stasioner intrinsik (*intrinsic stasionarity*) (Delfiner, 1999 dalam Alfiana, 2010).

2.4.1 Stasioner Kuat (*String Stationarity*)

Suatu fungsi acak dikatakan *strictly stationarity* dalam daerah pengamatan D jika fungsi distribusi kumulatif adalah sama untuk sembarang nilai **h** dimana **h** adalah suatu konstanta dan $\mathbf{s}_i$ adalah lokasi pengamatan. Dapat diartikan bahwa setiap penambahan **h** pada distrbusi $Z_1(\mathbf{s}_1), Z_2(\mathbf{s}_2), \ldots, Z_k(\mathbf{s}_k)$ sama dengan distribusi $Z_1(\mathbf{s}_1 + \mathbf{h}), Z_2(\mathbf{s}_2 + \mathbf{h}), \ldots, Z_k(\mathbf{s}_k + \mathbf{h})$ (LeMay,1995).

2.4.2 Stasioner Orde Dua (*Covariance Stationarity*)

Stasioneritas orde dua juga dikenal sebagai *covariance stationarity*. Jenis stasioneritas ini lebih lemah daripada stasioner kuat. Suatu fungsi acak disebut stasioner orde dua jika memenuhi asumsi sebagai berikut.

1. $E\left[Z(\mathbf{s})\right] = \mu(\mathbf{s}) = \mu, \forall \mathbf{s}$ atau

$E\left[Z(\mathbf{s})Z(\mathbf{s}+\mathbf{h})-\mu^2\right]=Cov(\mathbf{h}),\forall\mathbf{s}$ dimana μ adalah rata-rata yang sebenarnya dari suatu distribusi. Hal ini menunjukkan bahwa ekspektasi bernilai konstan untuk semua lokasi **x** sehingga diperoleh asumsi yang kedua

2. $E\left[\left(Z(\mathbf{s})-\mu\right)\left(Z(\mathbf{s}+\mathbf{h})-\mu\right)\right]=Cov(\mathbf{h})$

$$E\left[Z(\mathbf{s})Z(\mathbf{s}+\mathbf{h})-\mu^2\right]=Cov(\mathbf{h}),\forall\mathbf{s} \quad (2.4)$$

Kovarians pada persamaan (2.4) untuk $Z(\mathbf{s}),Z(\mathbf{s}+\mathbf{h})$ hanya bergantung pada jarak **h** dan tidak bergantung pada lokasi **s** (LeMay, 1995).

2.4.3 Stasioner Intrinsik (*Intrinsic Stationarity*)

Stasioner intrinsik adalah jenis stasioner yang paling lemah. Suatu variabel acak **Z(s)** disebut stasioner intrinsik jika mengikuti kondisi berikut.

1. $E\left[Z(\mathbf{s})\right]=\mu,\forall\mathbf{s}$
2. $\left[Z(\mathbf{s}+\mathbf{h})-Z(\mathbf{s})\right]$

Suatu variabel acak dikatakan stasioner intrinsik apabila variabel acaak tersebut mempunya nilai tengah μ dan varians setiap kenaikan $Z(\mathbf{s}+\mathbf{h})-Z(\mathbf{h})$ tidak bergantung pada **x**, dapat dinyatakan dalam persamaan berikut (LeMay,1995).

$$Var\left[Z(\mathbf{s}+\mathbf{h})-Z(\mathbf{s})\right]=2\gamma(\mathbf{h}),\forall\mathbf{s} \quad (2.5)$$

2.5 Variogram dan Semivariogram

Variogram memegang peranan utama dalam analisis data geostatistik. Secara teori, menurut Wackernagel (1995) variogram adalah metode analisis keragaman data spasial yang didasarkan pada pengukuran jarak. Variogram berperan dalam menentukan jarak di mana nilai antar data pengamatan tidak saling berkorelasi (Munadi, 2005 dalam Alfiana, 2010). Analisis variogram dilakukan ketika asumsi stasioner intrinsik dalam residual terpenuhi (Andayani, 2002). Variogram dilambangkan dengan

$2\gamma(.)$, sedangkan setengah dari variogram disebut sebagai semivariogram yang dilambangkan dengan $\gamma(.)$.

Berdasarkan Munadi (2005) dalam Alfiana (2010). suatu perangkat dasar geostatistika untuk visualisasi, pemodelan dan eksploitasi autokorelasi spasial variabel regionalisasi biasa dikenal sebagai semivariogram. Semivariogram adalah setengah dari variogram dengan simbol γ. Semivariogram digunakan untuk menentukan jarak dimana nilai-nilai data pengamatan menjadi tidak saling bergantung atau tidak ada korelasinya (Alfiana, 2010). Menurut Zimmerman dan Stein (2010), terdapat 2 jenis variogram yaitu variogram eksperimental dan variogram teoritis.

2.5.1 Sifat-sifat Semivariogram

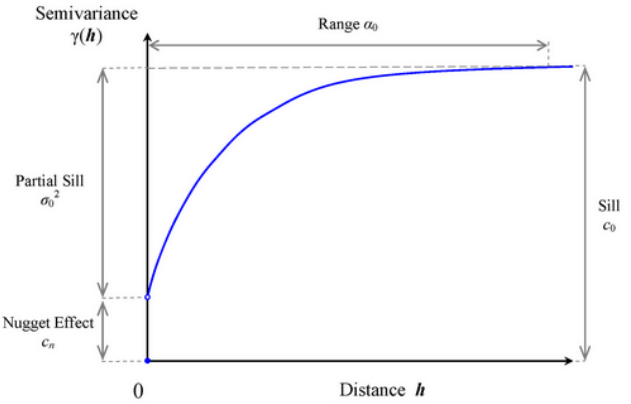
Menurut Zimmerman dan Stein (2010), semivariogram dikatakan tepat jika memenuhi sifat-sifat sebagai berikut.

1. $\gamma(\cdot)$ berada dalam kondisi semi definit negatif, yaitu $\sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j (\mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j) \leq 0$ untuk seluruh $s_i \in \mathbf{s}$ dan seluruh $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_i$ sehingga $\sum_i \lambda_i = 0$
2. $\gamma(0) = 0$
3. $\gamma(-\mathbf{h}) = \gamma(\mathbf{h})$
4. $\lim \left\{ \dfrac{\gamma(\mathbf{h})}{\|\mathbf{h}\|^2} \right\} = 0$ sama dengan $\|\mathbf{h}\| \to \infty$

2.5.2 Semivariogram Eksperimental

Semivariogram eksperimental merupakan semivariogram yang didapatkan berdasarkan nilai pengamatan dan dihitung menggunakan penghitungan yang ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut (Isaaks dan Srivastava, 1989).

$$\gamma^*(h_k) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{(i,j)|h_{ij}=h} \left(z(x_i + h_{ij}) - z(x_i) \right)^2 \qquad (2.6)$$



Gambar 1 Contoh Semivariogram Eksperimental

Gambar 1 adalah contoh semivariogram eksperimental. Ada beberapa komponen dalam semivariogram yaitu *sill*, *nugget*, dan *range*. Adapun penjelasan dari masing-masing komponen sebagai berikut.

1. *Sill* adalah nilai semivariogram pada saat besarnya jarak konstan atau pada saat permukaan semivariogram berubah menjadi datar. Selain itu, *sill* igunakan juga untuk menyatakan "*amplitude*" dari komponen tertentu pada semivariogram. Nilai s*ill* dan varians data bisa sama besarnya. Secara matematika, *sill* dilambangkan dengan $\gamma(\infty) = M$, yang menginformasikan bahwa dua variabel acak yang dipisahkan oleh jarak yang panjangnya tak berhingga tidak berkorelasi. Dengan kata lain setelah semivariogram mencapai *sill* mengindikasikan tidak adanya korelasi antar sampel. jika suatu fungsi acak intrinsik mencapai *sill*, maka fungsi random tersebut merupakan stasionaritas orde dua. Variogram yang mempunyai *sill* disebut juga sebagai *transition models* (LeMay, 1995).
2. Range adalah jarak atau lag pada saat semivariogram mencapai nilai sill, dengan asumsi bahwa autokorelasi sama dengan 0 di luar range.

3. Nugget adalah nilai semivariogram di mana lag mendekati nol. Nugget menunjukkan varians pada jarak atau lag yang sangat kecil (*microscale*), termasuk kesalahan dalam pengukuran.

2.5.3 Semivariogram Teoritis

Semivariogram teoritis merupakan semivariogram yang mempunyai bentuk kurva mendekati semivariogram eksperimental. Untuk tujuan analisis lebih lanjut semivariogram eksperimental harus diganti dengan semivariogram teoritis. Pengantian ini bertujuan agar model semivariogram sesuai dengan karakteristik variabel yang diestimasi. Jika tidak maka ada kemungkinan varians yang dihasilkan bernilai negatif (Amstrong, 1998). Terdapat 2 (dua) jenis semivariogram teoritis, yaitu semivariogram isotropi dan semivariogram anisotropi. Menurut LeMay (1995), jika suatu semivariogram hanya bergantung pada jarak dan tidak pada arah, maka semivariogram tersebut merupakan semivariogram isotropi (sama dengan fungsi kovarians). Lawan dari isotropi adalah non isotropy atau dikenal dengan anisotropi, yaitu semivariogram yang bergantung pada jarak dan arah. Adapun beberapa model semivariogram isotropi sebagai berikut.

1. Model Linear

$$\gamma(h) = C_0 + \left[h\left(\frac{C}{A_0} \right) \right] \tag{2.7}$$

2. Model *Spherical*

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C(1.5\dfrac{h}{A_0} - 0.5\left(\dfrac{h}{A_0} \right)^3 & ;h \le A_0 \\ C_0 + C & ;h > A_0 \end{cases} \tag{2.8}$$

3. Model *Exponential*

$$\gamma(h) = C_0 + C\left[1 - \exp\left(-\frac{h}{A_0} \right) \right] \tag{2.9}$$

4. Model Gaussian

$$\gamma(h) = C_0 + C\left[1 - exp\left(-\frac{h^2}{A_0^{\,2}}\right)\right] \qquad (2.10)$$

dimana C_0 adalah *nugget variance*, C adalah *structural variance* $\geq C_0$, A_0 adalah range dan h adalah jarak semivariogram.

Variogram anisotopi mempunyai rumus yang mirip variogram isotropi, hanya pada perhitungan range (A) pada variogram anisotropi menggunakan *major range* (A_1) dan *minor range* (A_2).

$$A = \sqrt{A_1^{\,2}\left[cos^2(\theta - \phi)\right] + A_2^{\,2}\left[sin^2(\theta - \phi)\right]} \qquad (2.11)$$

dimana A_1 adalah parameter range untuk *major axis* (ϕ) dan A_2 adalah parameter range untuk *minor axis* ($\phi + 90$), ϕ adalah sudut variasi maksimum dan θ adalah sudut antara lokasi yang berpasangan. Rumus untuk masing-masing model variogram anisotropi diberikan sebagai berikut.

1. Model Linear

$$\gamma(h) = C_0 + \left[h(C / A)\right] \qquad (2.12)$$

2. Model *Spherical*

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C(1.5\frac{h}{A} - 0.5\left(\frac{h}{A}\right)^3 & ;h \leq A \\ C_0 + C & ;h > A \end{cases} \qquad (2.13)$$

3. Model *Exponential*

$$\gamma(h) = C_0 + C\left[1 - \exp\left(-\frac{3h}{A}\right)\right] \qquad (2.14)$$

4. Model Gaussian

$$\gamma(h) = C_0 + C\left[1 - exp\left(-\frac{(3h)^2}{A^2}\right)\right] \qquad (2.15)$$

dimana $C_0 + C$ adalah *sill*, C_0 adalah *nugget variance*, C adalah *structural variance* $\geq C_0$, A adalah range dan vektor h adalah jarak semivariogram.

2.6 Interpolasi

Interpolasi merupakan metode estimasi suatu nilai yang tidak diketahui atau tidak disampel dengan menggunakan nilai-nilai yang diketahui atau disampel yang berada disekitarnya. Titik-titik yang berada disekitarnya bisa berbentuk reguler maupun irregular. Keakuratan hasil interpolasi tergantung pada bilangan dan penyebaran titik-titik yang diketahui nilainya serta fungsi matematika yang digunakan dalam mengestimasi model (Aronof, 1989 dalam Jaya, 2002). Menurut Anderson (2001), terdapat dua asumsi dalam interpolasi spasial, yaitu atribut data bersifat kontinu di dalam ruang jarak (*space*) dan atribut saling berkorelasi secara spasial. Dari kedua asumsi tersebut dapat diindikasikan bahwa, estimasi terhadap atribut data dapat dilakukan berdasarkan lokasi disekitarnya dan pada titik-titik yang berdekatan mempunyai kemiripan lebih besar dari pada titik- titik yang jauh terpisah. Metode interpolasi terbagi menjadi 2 (dua) yaitu metode deterministik yang terdiri dari *Inverse Distance Weighted* (IDW), *Natural Neighbor* (NN) : *poligon thiessen, Trend surface analysis*, Linier, dan *Spline* serta metode geostatistik yang menggunakan metode stokastik autokorelasi spasial yang terdiri dari kriging dan cokriging (Jaya, 2002).

2.7 Metode Kriging

Menurut Alemi, dkk. (1988), kriging adalah teknik interpolasi linear yang menggunakan autokorelasi spasial antar pengamatan untuk mengestimasi variabel di lokasi yang tidak diambil sampelnya tanpa bias dan varians minimum. Kriging dikembangkan lagi menjadi tiga jenis berdasarkan variabel teregionalnya, yaitu *ordinary* kriging, *universal* kriging, dan blok kriging. Dalam *ordinary* kriging, estimator dibangun untuk variabel teregional yang berfluktuasi di sekitar level yang tetap. Pada *universal* kriging, estimator dibangun untuk kasus dengan tren yang jelas dalam variabel teregional. Sedangkan estimator pada blok kriging dibangun untuk mengestimasi rata-rata spasial variabel teregional (Omre, 1984).

2.8 Metode Cokriging

Menurut Isaaks dan Srivastava (1989), cokriging adalah metode pendugaan yang meminimumkan varians dari galat estimasi dengan menggunakan *cross variogram* antara beberapa variabel. Selain itu, jika seluruh variabel yang diukur pada seluruh lokasi sampel tersebut berkorelasi, maka cokriging lebih tepat digunakan daripada kriging (Wackernagel, 1995). Menurut Myer (1982), jika ingin mengurangi varians dari estimasi suatu variabel atau mengestimasi beberapa variabel secara bersamaan maka metode cokriging bisa menjadi salah satu cara yang tepat. Interpolasi dengan menggunakan metode *ordinary* kriging memberikan informasi sebaran spasial dan estimasi berbagai macam variabel dalam skala kecil (Goovaerts, 2001 dalam Pang dkk, 2009). Namun, pada estimasi pada sebaran dan ukuran sampel dalam skala besar, tentunya akan membutuhkan waktu dan biaya yang mahal untuk menghasilkan estimasi yang tepat tanpa mengorbankan keakuratan data. Oleh karena itu, pengurangan ukuran sampel telah dipertimbangkan sebagai solusi yang efektif (Liu dkk, 2006 dalam Pang dkk, 2009). Variabel sekunder dapat digunakan untuk meningkatkan ketepatan estimasi dan pengurangan jumlah variabel yang sulit diperoleh melalui metode cokriging.

2.8.1 Pemilihan Variabel Sekunder

Dalam metode cokriging diperlukan suatu variabel tambahan atau variabel sekunder yang juga disebut sebagai kovariat untuk mengestimasi suatu variabel primer. Menurut Rossiter (2007) dalam Setiyowati (2015), ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan variabel sekunder sebagai berikut.

1. Variabel sekunder secara teori mempengaruhi atau berkorelasi dengan variabel primer
2. Variabel sekunder secara empiris mempengaruhi variabel primer. Hal ini dapat dilihat dari diagram pencar untuk menguji korelasi ruang atau spasial serta melalui kovarians spasial.

2.8.2 Pembobot Cokriging

Menurut Isaaks dan Srivastava (1989), estimasi cokriging merupakan kombinasi linier dari dataset variabel primer (U) dan dataset variabel sekunder (V) yang dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\widehat{u}_0 = \sum_{i=1}^{n} a_i u_i + \sum_{j=1}^{m} b_j v_j \tag{2.16}$$

$\hat{u}_0$ adalah estimasi U pada lokasi 0, $u_1, u_2, \ldots, u_n$ adalah data dari variabel pertama pada n lokasi yang bedekatan, $v_1, v_2, \ldots, v_m$ adalah data dari variabel kedua pada m lokasi yang berdekatan, $a_1, a_2, \ldots, a_n$ dan $b_1, b_2, \ldots, b_m$ adalah pembobot dari cokriging yang harus ditentukan terlebih dahulu. Kesalahan estimasi cokriging didefinisikan sebagai berikut.

$$R = \hat{U}_0 - U_0 = \sum_{i=1}^{n} a_i u_i + \sum_{j=1}^{m} b_j v_j - U_0 \tag{2.17}$$

Dimana $U_1, U_2, \ldots, U_n$ adalah variabel random yang mewakili variabel U pada n lokasi yang berdekatan dan $V_1, V_2, \ldots, V_m$ adalah variabel random yang mewakili variabel V pada m lokasi yang berdekatan. Persamaan 2.18 dapat dinyatakan dalam bentuk matriks sebagai berikut.

$$\mathbf{R} = \mathbf{w}^t \mathbf{Z} \tag{2.18}$$

dimana,

$$\mathbf{w}^t = \left(a_1, a_2, \ldots, a_n, b_1, b_2, \ldots, b_m, -1\right)$$

$$\mathbf{Z}^t = \left(U_1, U_2, \ldots, U_n, V_1, V_2, \ldots, V_m, U_0\right)$$

Sedangkan varians dari R dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$Var\left(R\right) = \mathbf{w}^t \mathbf{C}_z \mathbf{w}$$

$$Var\left(R\right) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} a_i a_j Cov\left(U_i, U_j\right) + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} b_i b_j Cov\left(V_i, V_j\right)$$
$$+2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} a_i b_j Cov\left(U_i, V_j\right) - 2\sum_{i=1}^{n} a_i Cov\left(U_i, V_0\right)$$

$$-2\sum_{j=1}^{m} b_j Cov\left(U_j, V_0\right) + Cov\left(U_0, V_0\right) \qquad (2.19)$$

dimana C_z adalah matriks kovarians dari Z, $Cov\left(U_i, U_j\right)$ adalah auto kovarians antara U_i dan U_j, $Cov\left(V_i, V_j\right)$ adalah auto kovarians antara V_i dan V_j, serta $Cov\left(U_i, V_j\right)$ adalah kovarians silang antara U_i dan V_j.

Langkah pertama untuk menghitung ekspektasi nilai estimasi $\hat{U}_0$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E\left(\hat{U}_0\right) &= E\left(\sum_{i=1}^{n} a_i u_i + \sum_{j=1}^{m} b_j v_j\right) \\ E\left(\hat{U}_0\right) &= \tilde{m}_u \sum_{i=1}^{n} a_i + \tilde{m}_v \sum_{j=1}^{m} b_j \end{aligned} \qquad (2.20)$$

Pembobot pada cokriging harus memenuhi kondisi dimana nilai estimasi yang diperoleh tidak bias, maka jumlah pembobot pada suku pertama adalah satu dan pada suku kedua adalah 0 atau dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\sum_{i=1}^{n} a_i = 1 \text{ dan } \sum_{j=1}^{m} b_i = 0 \qquad (2.21)$$

Selanjutnya adalah mencari pembobot yang dapat meminimalisasi varians error dan memenuhi dua kondisi nonbias dengan menggunakan Lagrange *multiplier* yang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$Var\left(R\right) = \mathbf{w}^t \mathbf{C}_z \mathbf{w} + 2\mu_1\left(\sum_{i=1}^{n} a_i - 1\right) + 2\mu_2\left(\sum_{j=1}^{m} b_i\right) \qquad (2.22)$$

dimana μ_1 dan μ_2 adalah Lagrange *multiplier*. Untuk meminimalkan persamaan 2.23 maka dihitung turunan parsial dari $Var\{R\}$ sebagai berikut.

$$\frac{\partial\left(Var\left(R\right)\right)}{\partial a_j} = 2\sum_{i=1}^{n} a_i Cov\left(U_i, U_j\right) + 2\sum_{i=1}^{m} b_i Cov\left(V_i, U_j\right) - 2Cov\left(U_0, U_j\right) + 2\mu_1 \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial\left(Var\left(R\right)\right)}{\partial b_j} = 2\sum_{i=1}^{n} a_i Cov\left(U_i, V_j\right) + 2\sum_{i=1}^{m} b_i Cov\left(V_i, V_j\right) - 2Cov\left(U_0, V_j\right) + 2\mu_2 \quad (2.24)$$

$$\frac{\partial\left(Var\left(R\right)\right)}{\partial b_j} = 2\left(\sum_{i=1}^{n} a_i - 1\right) \quad (2.25)$$

$$\frac{\partial\left(Var\left(R\right)\right)}{\partial b_j} = 2\sum_{i=1}^{n} b_i \quad (2.26)$$

Pada ruas kiri persamaan disamadenganken 0, maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$\sum_{i=1}^{n} a_i Cov\left(U_i, U_j\right) + \sum_{j=1}^{m} b_i Cov\left(V_i, U_j\right) + \mu_1 = Cov\left(U_0, U_j\right) \quad (2.27)$$

$$\sum_{i=1}^{n} a_i Cov\left(U_i, V_j\right) + \sum_{j=1}^{m} b_i Cov\left(V_i, V_j\right) + \mu_2 = Cov\left(U_0, V_j\right) \quad (2.28)$$

$$\sum_{i=1}^{n} a_i = 1 \text{ dan } \sum_{j=1}^{m} b_i = 0 \quad (2.29)$$

2.9 *Cross Variogram*

Definisi dari variogram bisa diperluas mengikuti persamaan *cross variogram* yang digunakan jika nilai pengamatan berasal dari dua variabel acak yang berasal dari distribusi yang berbeda (Isaaks dan Srivastava, 1989 dalam Memarsadeghi, 2004). Cokriging merupakan kasus geostatistik multivariat, sehingga tidak cukup hanya menggunakan variogram yang hanya mengukur independensi spasial satu variabel. Independensi spasial dua variabel diukur dengan menggunakan *cross variogram*. Dalam interpolasi cokriging, terdapat 2 variabel yaitu variabel primer dan

variabel sekunder (kovariat). Selain menghitung variogram dari masing-masing variabel, diperlukan juga perhitungan untuk *cross variogram* antara variabel primer dan variabel sekunder. Misal variabel sekunder dinyatakan dengan v_i dan v_j, *cross variogram* antara variabel primer U dan variabel sekunder V yang dinyatakan sebagai berikut.

$$\gamma_{UV}(\boldsymbol{h}) = \frac{1}{2} E\left[Z_U(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{h}) - Z_U(\boldsymbol{x}) \right]\left[Z_V(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{h}) - Z_V(\boldsymbol{x}) \right] \quad (2.30)$$

Atau secara sederhana *cross semivariogram* sampel dapat dinyatakan juga sebagai berikut.

$$\gamma_{uv}(\boldsymbol{h}) = \frac{1}{2N(\boldsymbol{h})} \sum_{(i,j)|\boldsymbol{h}_{ij}=\boldsymbol{h}} \left(u_i - u_j\right)\left(v_i - v_j\right) \quad (2.31)$$

Menurut Journel dan Huijbregts (1978) dalam Amstrong (1998), *cross variogram* dapat dihitung ketika lokasi pengambilan variabel teregional bersifat *partial heterotopy* atau *isotropy* yaitu beberapa atau semua variabel teregional diukur dari lokasi pengambilan sampel yang sama. Adapun sifat-sifat *cross variogram* menurut Wackernagel (1995) sebagai berikut.

1. $\gamma_{UV}(0) = 0$, dua data yang berjarak nol (**h** = 0) maka nilai *cross variogram* juga bernilai nol.
2. $\gamma_{UV}(-\mathbf{h}) = \gamma_{UV}(\mathbf{h})$ atau $\gamma_{UV}(\mathbf{h}) = \gamma_{VU}(\mathbf{h})$ merupakan fungsi genap.
3. *Cross variogram* bernilai negatif menunjukkan antar variabel teregional berkorelasi negatif. Hal ini berbeda dengan variogram yang hanya memiliki nilai positif.

2.10 *Cross Validation*

Menurut Wackernagel (1995), *cross validation* digunakan untuk menguji asumsi kesesuaian model (misalnya tipe variogram dan parameternya) serta menguji data spasial yang digunakan (misalnya ada tidaknya outlier). Menurut Cressie (1993), prinsip dasar *cross validation* adalah mengestimasi nilai variabel teregional yang tidak diketahui $\hat{z}(\boldsymbol{s}_i)$ berdasarkan nilai variabel teregional yang diketahui $z(\boldsymbol{s}_1), z(\boldsymbol{s}_2), \ldots, z(\boldsymbol{s}_{i-1})$, dimana i =

2,3,...,n dan nilai n adalah jumlah sampel dari variabel teregional yang diketahui. Selanjutnya membandingkan nilai variabel teregional yang diketahui dengan hasil estimasi yang dihasilkan melalui metode cokriging. Galat estimasi yang dihasilkan dapat digunakan untuk membandingkan teknik interpolasi yang berbeda, dalam penelitian ini akan diperiksa perbedaan antara data aktual yang digunakan untuk pemodelan dan data estimasi dengan menggunakan *Mean Error* (ME), *Root Mean Squared Error* (RMSE), *Mean Standardized Prediction Error* (MSPE), dan *Root Mean Square Standardized Prediction Error* (RMSP).

a. *Mean Error* (ME) Merupakan statistik rata-rata selisih antara nilai aktual dengan nilai estimasi. Rumus ME adalah sebagai berikut (Robinson dan Metternicht, 2006).

$$ME = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left\{z\left(\mathbf{s}_i\right) - \hat{z}\left(\mathbf{s}_i\right)\right\} \qquad (2.32)$$

b. *Root Mean Squared Error* (RMSE) disebut juga sebagai *Root Mean Square Deviation* (RMSD), biasanya digunakan untuk mengukur seberapa ketepatan estimasi. Nilai RMSE yang besar mengindikasikan ketidakakuratan estimasi yang dilakukan. Rumus RMSE adalah sebagai berikut (Robinson dan Metternicht, 2006).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left\{z\left(\mathbf{s}_i\right) - \hat{z}\left(\mathbf{s}_i\right)\right\}^2} \qquad (2.33)$$

c. *Mean Square Prediction Error* (MSPE) Mengukur seberapa tepat model mengestimasi nilai-nilai pengamatan aktual. Semakin kecil MSPE yang dihasilkan, semakin tepat estimasi yang diperoleh. Rumus MSPE adalah sebagai berikut (Robinson dan Metternicht, 2006).

$$MSPE = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left[\left(z\left(\mathbf{s}_i\right) - \hat{z}\left(\mathbf{s}_i\right)\right) / \sigma_{e^*}\left(\mathbf{s}_i\right)\right]^2}{N} \qquad (2.34)$$

d. *Root Mean Square Standardized Prediction Error* (RMSP) Nilai RMSP seharusnya mendekati 1 jika galat estimasi valid. Jika RMSP>1, maka validitas estimasi diragukan

(underestimated). Jika RMSP < 1, maka validitas estimasi lebih dipercaya (*overestimated*). Rumus RMSP adalah sebagai berikut.

$$RMSP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left[\left(z\left(\mathbf{s}_i\right)-\hat{z}\left(\mathbf{s}_i\right)\right)/\sigma_{e^*}\left(\mathbf{s}_i\right)\right]^2}{N}} \quad (2.35)$$

2.11 Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegitan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 39 tahun 2008). Pencemaran udara dapat ditimbulkan oleh sumber-sumber alami maupun kegiatan manusia. Beberapa definisi gangguan fisik seperti polusi suara, panas, radiasi atau polusi cahaya dianggap sebagai polusi udara. Sifat alami udara mengakibatkan dampak pencemaran udara dapat bersifat langsung dan lokal, regional, maupun global. Polutan pencemar udara dibedakan menjadi polutan primer dan polutan sekunder. Polutan primer adalah substansi polutan yang ditimbulkan langsung dari sumber polutan udara. Polutan sekunder adalah substansi polutan yang terbentuk dari reaksi polutan-polutan primer di atmosfer. Berdasarkan Baku Mutu Udara Ambien (BMUA) menurut Peraturan Pemerintah Nomor 41 tahun 1999. Parameter polutan udara meliputi karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO_2), hidrokarbon (CH), sulfur dioksida (SO_2), ozon (O3), partikel yang berukuran $\leq$ 10 mikron (PM10), partikel yang berukuran $\leq$ 2.5 mikron (PM2.5), Total Suspended Particulate/ debu (TSP), timah hitam (Pb), serta dustfall (debu jatuh). Tidak semua polutan yang diemisi ke udara dapat menimbulkan dampak penting. Jika laju emisinya kecil atau durasi pemunculannya singkat, suatu emisi polutan kemungkinan besar tidak akan terlalu mempengaruhi kualitas udara ambien sampai ke tingkatan signifikan. Kriteria batas polutan penting yang

dikeluarkan New Jersey Department of Environmental Protection adalah tercantum pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Kriteria Batas Polutan Penting dari 6 Pencemar Utama

Polutan	**Emisi (Ton/Tahun)**
Nitrogen Dioksida (NO_2)	25[a]/40[b]
Karbon Monoksida (CO)	100
Sulfur Dioksida (SO_2)	40
Total Suspended Partikulat (TSP)	25
PM_{10}	15
Timbal (Pb)	0,6

Keterangan: a. Jika tinggi cerobong/keluaran < 20 m

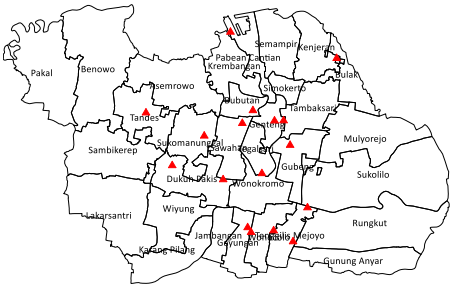
b. Jika tinggi cerobong/keluaran ≥ 20 m

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder parameter kualitas udara yang diperoleh dari DLH Kota Surabaya. Titik lokasi yang digunakan ada 17 (tujuh belas) lokasi yaitu mewakili daerah permukiman, kantor, sekolah/kampus, industri, jalan-jalan besar, dan pusat perbelanjaan dengan asumsi kondisi udara di Kota Surabaya bersifat homogen. Pengukuran dilakukan pada bulan Agustus-Desember 2019. Adapun peta lokasi titik pengambilan sampel yang digunakan pada penelitian ini dapat disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi Pengambilan Sampel

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah konsentrasi NO_2 dan SO_2 seperti yang disajikan pada Tabel 3.1. Konsentrasi parameter Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) ini dipilih karena NO_2 dan SO_2 merupakan polutan udara berbahaya yang memberikan sumbangsih besar pada kualitas udara ambien di Kota Surabaya. Ambang batas normal untuk konsentrasi NO_2 adalah 0,05 ppm. Sedangkan ambang batas normal untuk konsentrasi SO_2 sebesar 0,1 ppm. Adapun variabel penelitian yang digunakan sebagai berikut.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

No.	Variabel	Keterangan
1	s_i	Lokasi pengambilan sampel ($x_{(i)}$, $y_{(i)}$)
2	$x_{(i)}$	Bujur/*longitude* lokasi pengamatan (UTM)
3	$y_{(i)}$	Lintang/*latitude* lokasi pengamatan (UTM)
4	$Z_1(s_i)$	Konsentrasi NO_2 ($\mu g/Nm^3$)
5	$Z_2(s_i)$	Konsentrasi SO_2 ($\mu g/Nm^3$)

Pada estimasi konsentrasi NO_2, yang berperan sebagai variabel sekunder adalah SO_2. Sedangkan pada estimasi konsentrasi SO_2, yang berperan sebagai variabel sekunder adalah NO_2. Satuan konsentrasi gas yang digunakan adalah $\mu g/Nm^3$ atau ppm. Pengukuran konsentrasi gas NO_2 dan SO_2 dilakukan dengan alat Gray Wolf Toxic Gas secara portabel selama 24 jam dalam satu hari. Namun karena keterbatasan alat dan waktu, maka pengukuran secara portabel tidak dapat dilakukan secara maksimal untuk mengukur semua titik lokasi yang harus diamati. Selain itu, konsentrasi gas NO_2 dan SO_2 juga diukur oleh alat pemantau otomatis udara ambien yang disebut *Air Quality Monitoring System* (AQMS) yang terletak permanen di 5 titik lokasi di Kota Surabaya. Adapun alat ukur yang digunakan dalam pengukuran konsentrasi SO_2 dan NO_2 secara portabel dapat ditunjukkan pada Gambar 3.2.

Gambar 3.2 Gray Wolf Toxic Test Meter

Data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Penelitian

No.	Lokasi	SO2	NO2
1	Area Kantor Kecamatan Genteng	0,60	0,0001
2	Area Kantor Kecamatan Dukuh Pakis	1,03	0,0001
3	Area Kantor Kecamatan Bubutan	1,04	0,0001
4	Area Kantor Kecamatan Gubeng	1,05	0,0001
5	Area Car Free Day Jl. Darmo	1,30	0,0001
6	Area Car Free Day Jl. Jimerto	1,315	0,0001
7	Jl. Nilam Barat Surabaya	0,02	0,01
8	Jl. Simo Pomahan I Surabaya	0,01	0,01
9	Jl. Nambangan Surabaya	0,01	0,01
10	Jl. Ahmad Yani Surabaya	0,05	0,03
11	Jl. Argopuro Surabaya	11,10	5,62
12	Jl. Panjang Jiwo Surabaya	24,00	6,00
13	Jl. Mayjen Sungkono Surabaya	7,00	13,00
14	Jl. Raya Jemursari Surabaya	0,40	16,00
15	Jl. Rungkut Industri I Surabaya	0,99	18,70
16	Jl. Buntaran Surabaya	7,14	19,92
17	Jl. Ketintang Baru I Surabaya	69,60	33,50

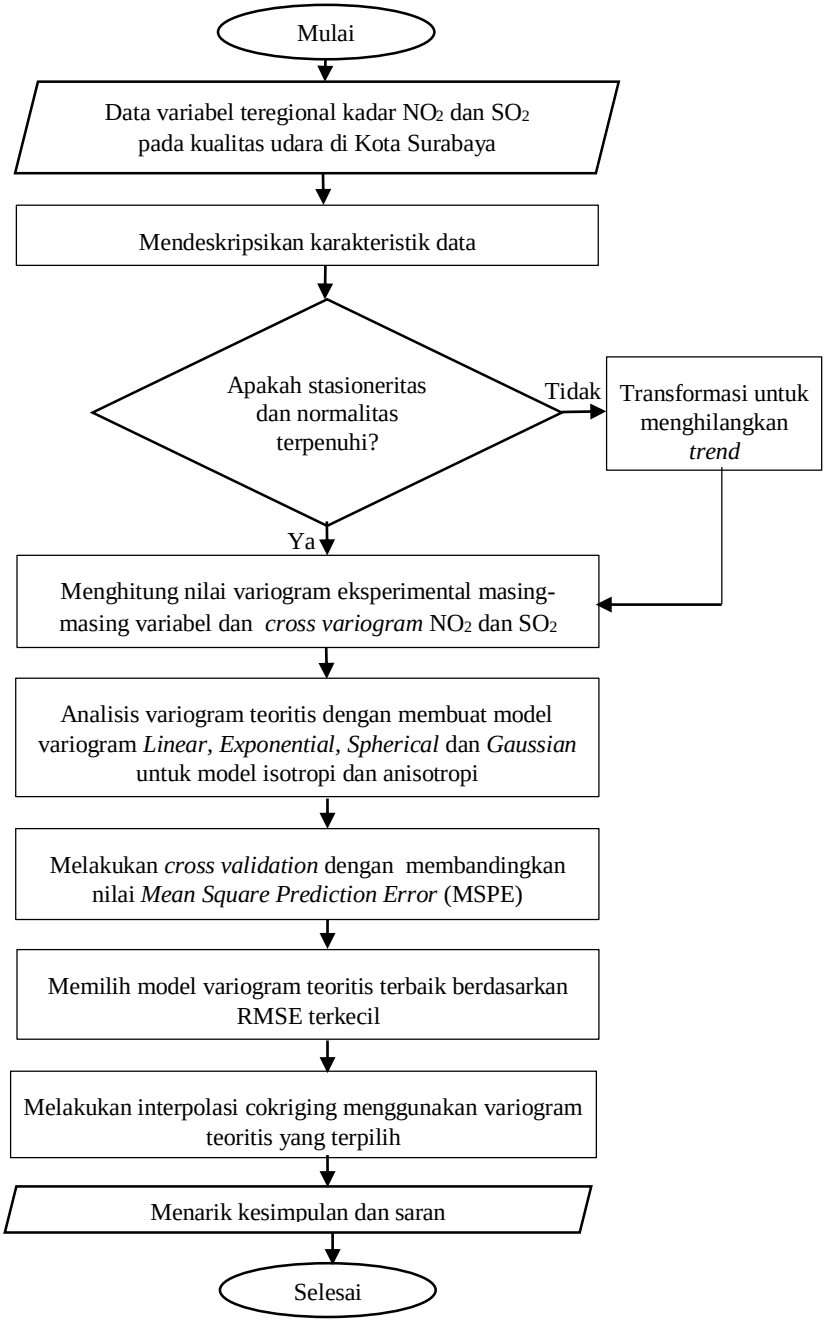
3.3 Langkah Analisis Data

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah interpolasi Cokriging. Berikut adalah langkah-langkah analisis yang digunakan dalam melakukan penelitian ini sesuai dengan tujuan penelitian.

1. Mendeskripsikan karakteristik data konsentrasi parameter kualitas udara ambien hasil pengukuran *real time* oleh alat ukur otomatis AQMS dan pengukuran berkala dengan alat portabel.
2. Mendeskripsikan karakteristik konsentrasi SO_2 dan NO_2
3. Menentukan dan mengidentifikasi pola hubungan antara variabel teregional primer (SO_2) dan variabel teregional sekunder (NO_2).
4. Melakukan identifikasi asumsi stasioneritas data.
   Identifikasi asumsi stasioner dilakukan untuk melihat ada tidaknya *trend* pada data dengan menggunakan plot 3-dimensi dan 2-dimensi.

5. Melakukan estimasi konsentrasi SO_2 dengan metode interpolasi cokriging. Konsentrasi SO_2 menjadi variabel teregional primer, sedangkan konsentrasi NO_2 sebagai variabel teregional sekunder.
   a. Melakukan penaksiran semivariogram eksperimental masing-masing variabel, serta *cross-variogram* antara konsentrasi SO_2 dan NO_2.
   b. Melakukan analisis semivariogram teoritis dengan cara membuat model *Linear*, *Exponential*, *Spherical*, dan *Gaussian* baik untuk model isotropi maupun anisotropi. Pada model semivariogram anisotropi, sudut anisotropi yang digunakan adalah 110°
   c. Melakukan analisis struktural (*fitting variogram*) dengan mencocokkan nilai *cross variogram* eksperimental dengan semivariogram teoritis untuk mendapatkan model semivariogram teoritis yang paling mendekati semivariogram eksperimental atau terbaik berdasarkan nilai *Mean Square Prediction Error* (MSPE)
6. Melakukan estimasi konsentrasi SO_2 dengan metode interpolasi cokriging. Konsentrasi SO_2 menjadi variabel teregional primer, sedangkan konsentrasi NO_2 sebagai variabel teregional sekunder. Langkah-langkah interpolasi cokriging sama dengan langkah poin (a) sampai (c) pada langkah 5.
7. Melakukan *cross validation* untuk mengetahui kebaikan model semivariogram teoritis terbaik pada masing-masing variabel baik secara isotropi dan anisotropi.
8. Melakukan visualisasi hasil estimasi konsentrasi SO_2 dan NO_2 menggunakan semivariogram teoritis terpilih sehingga dihasilkan peta kontur estimasi di wilayah Kota Surabaya.
9. Membuat interpretasi model dan menarik kesimpulan

Tahapan analisis data ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Alir

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bagian awal bab ini membahas tentang karakteristik konsentrasi SO_2 dan NO_2 hasil pengukuran AQMS dan portabel tahun 2019. Disamping itu, dibahas pula analisis interpolasi cokriging untuk mengestimasi konsentrasi SO_2 dan NO_2 dengan data hasil pemantauan berkala atau portabel.

4.1 Karakteristik 5 Parameter Kualitas Udara Ambien Hasil AQMS Kota Surabaya 2019

Sejak tahun 2013, Kota Surabaya telah memiliki jaringan pemantauan kualitas udara ambien otomatis yang terdiri dari enam stasiun pemantauan udara tetap (SUF). Keenam SUF ini dikenal dengan *Air Quality Monitoring System* (AQMS) untuk mengukur parameter kualitas udara ambien yang terdiri atas SO_2, NO_2, CO, O_3, dan PM10. Namun, pada tahun 2019 hanya tersisa tiga SUF yang masih aktif beroperasi yaitu terletak di Taman Prestasi (SUF1),Wonorejo (SUF6), dan Kebonsari (SUF7).

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa lokasi dengan kelengkapan data yang cukup terletak pada SUF 6 yaitu berlokasi di Wonorejo. Kelengkapan data dibutuhkan untuk mengetahui pola sebaran data dari kelima parameter selama satu tahun. Hal ini dapat dilihat dari jumlah *missing value* atau data yang tidak terekam. Semakin kecil jumlah *missing value,* maka data tersebut semakin lengkap. Data yang hilang atau tidak terekam oleh alat tersebut diakibatkan adanya kerusakan alat ukur masing-masing parameter. Sehingga dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk perbaikan, atau bahkan bisa dinonaktifkan sementara waktu agar data yang tercatat tetap akurat.

Tabel 4.1 *Missing Value* Kelima Parameter di Tiga Lokasi AQMS Tahun 2019

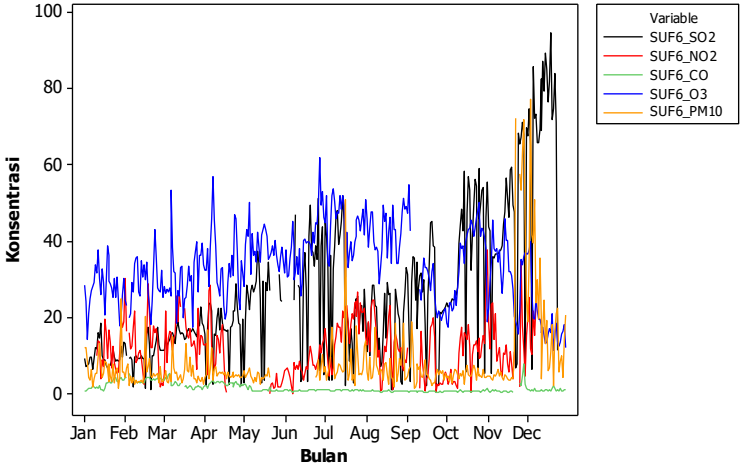
Lokasi	Parameter	*Missing Value*	% *Missing Value*
SUF 1	SO_2	350	95.89
	NO_2	344	94.25
	CO	150	41.09
	O_3	257	70.41
	PM10	144	39.45
SUF 6	SO_2	22	6.03
	NO_2	78	21.37
	CO	7	1.92
	O_3	8	2.19
	PM10	36	9.86
SUF 7	SO_2	204	55.89
	NO_2	4	1.09
	CO	62	16.99
	O_3	171	46.85
	PM10	33	9.04

Berdasarkan data tahun 2019, SUF 6 yang berlokasi di Wonorejo memiliki rata-rata konsentrasi SO_2, NO_2, CO, O_3, dan PM10 masing-masing sebesar 26,84 μg/Nm^3, 12,041 μg/Nm^3, 1,53 μg/Nm^3, 33,63 μg/Nm^3, dan 8,48 μg/Nm^3 seperti yang disajikan pada Tabel 4.2. Sedangkan SO_2 merupakan parameter dengan nilai varians tertinggi sebesar 403,939 μg/Nm^3. Artinya, konsentrasi SO_2 memiliki perserbaran data yang tinggi dibandingkan dengan parameter lainnya selama satu tahun terakhir. Selain itu dari kelima parameter, konsentrasi NO_2 mencapai nilai terendah kurang dari 0,001 μg/Nm^3. Sedangkan nilai tertinggi diperoleh dari konsentrasi SO_2 mencapai 94,723 μg/Nm^3 dalam satu tahun.

Tabel 4.2 Karakteristik Lima Parameter Kualitas Udara Ambien di Wonorejo

Variable	Mean	Varians	Minimum	Maksimum
SO2	26,84	403,94	1,13	94,72
NO2	12,041	49,761	0	37,833
CO	1,5293	1,4527	0,2572	7,8911
O3	33,627	97,186	11,595	61,912
PM10	8,481	111,468	1,298	77,372

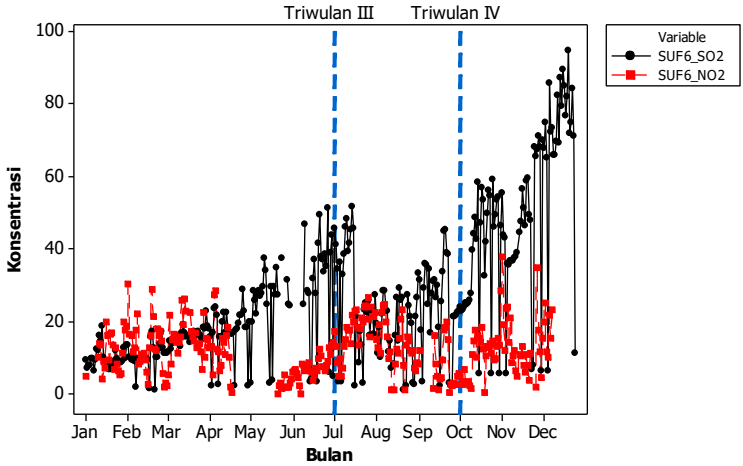
Pola persebaran data dari kelima parameter di SUF 6 dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Pola Persebaran Konsentrasi Lima Parameter Kualitas Udara Ambien di SUF6 (Wonorejo)

Pada bulan Januari-Mei dan bulan Agustus-Desember 2019, konsentrasi SO_2 cenderung mengalami kenaikan. Sedangkan pada bulan Juni-Juli, konsentrasi SO_2 mengalami penurunan di hari-hari tertentu dan cenderung rendah karena bertepatan dengan Hari Raya Idul Fitri dan libur tahun ajaran baru. Hal ini menunjukkan bahwa emisi gas buang kendaraan bermotor menurun di bulan tertentu. Selain itu, pada bulan Desember konsentrasi PM10

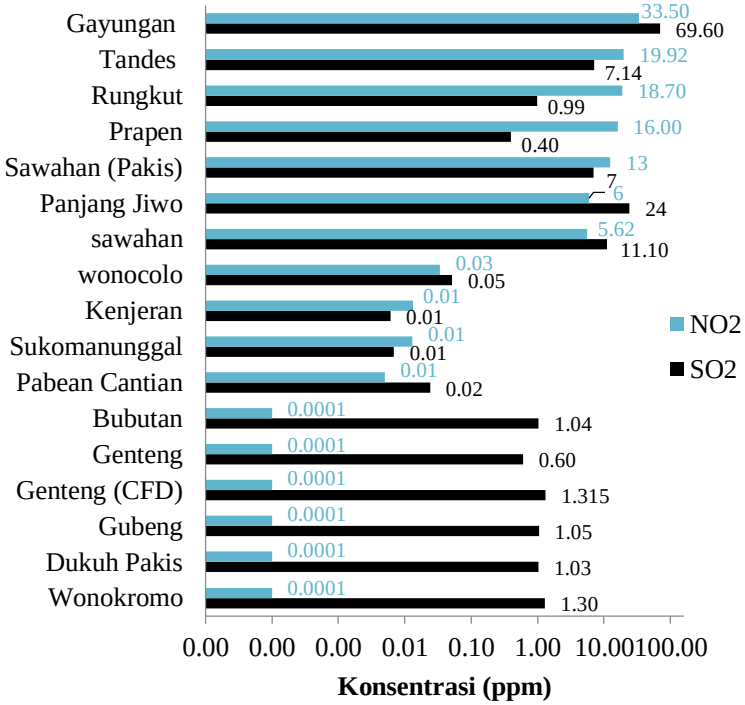
menunjukkan angka yang tinggi mencapai 77,37 µg/Nm^3 dibandingan bulan-bulan sebelumnya. Hal ini dapat diartikan bahwa bulan Desember menjadi puncak memburuknya kualitas udara di Kota Surabaya selama setahun terakhir. Tingginya konsentrasi SO_2 dan PM10 di udara dapat mengakibatkan efek iritasi pada saluran pernafasan dan menimbulkan gejala batuk bahkan sesak nafas. Pada bulan-bulan tertentu, konsentrasi SO_2 dan NO_2 menunjukkan adanya kemiripan pola data dibandingkan dengan parameter lainnya. Hal ini diperjelas oleh Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Konsentrasi SO_2 dan NO_2 di SUF 6 Tahun 2019

Gambar 4.2 menunjukkan pola konsetrasi NO_2 berhimpitan dengan konsentrasi SO_2 di awal tahun 2019 dan bulan-bulan tertentu. Namun, pada triwulan ketiga konsentrasi SO_2 menunjukkan adanya penurunan secara signifikan dan kembali naik pada triwulan keempat. Oleh karena itu, Dinas Lingkungan Hidup melakukan pemantauan berkala mulai akhir bulan Agustus – Desember untuk mengetahui kualitas udara ambien di beberapa lokasi lainnya. Pemantauan berkala ini dilakukan dengan menggunakan alat portabel Graywolf Toxic Gas Test Meters dan Graywolf 6-Channel Particle Counter setiap tahun. Adapun grafik

konsentrasi SO_2 dan NO_2 dari beberapa lokasi yang berhasil dikumpulkan sebagai berikut.



Gambar 4.3 Konsentrasi SO_2 dan NO_2 di 17 Lokasi Pemantauan Udara Berkala di Kota Surabaya

Gambar 4.3 merupakan hasil konsentrasi SO_2 dan NO_2 dari 17 titik lokasi di Kota Surabaya. Titik-titik lokasi tersebut mewakili beberapa wilayah yang terbagi menjadi wilayah perkantoran, permukiman, pusat perbelanjaan, industri dan akses transportasi. Berdasarkan Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa Kecamatan Kenjeran dan Sukomanunggal memiliki konsentrasi SO_2 terendah yaitu sebesar 0,001 ppm. Sedangkan konsentrasi NO_2 terendah berada di Kecamatan Genteng, Dukuh Pakis,

Bubutan, Gubeng, Wonokromo, dan area CFD Genteng yaitu kurang dari 0,0001 ppm. Namun, konsentrasi SO_2 dan NO_2 tertinggi berada di satu titik lokasi yang sama yaitu Kecamatan Gayungan masing-masing sebesar 69,60 ppm dan 33,50 ppm. Tidak semua lokasi atau kecamatan dapat terukur dan terwakili dalam pengambilan sampel kualitas udara ambien di Kota Surabaya. Hal ini dikarenakan keterbatasan waktu dan jumlah alat pemantauan milik Kota Surabaya yang kurang memadai, sehingga dari 40 kecamatan di Kota Surabaya hanya terwakili 17 lokasi saja.

4.2 Estimasi Konsentrasi SO_2 dan NO_2 dengan Metode Cokriging

Cokriging merupakan metode estimasi yang meminimumkan varians dari galat estimasi dengan menggunakan korelasi silang antara dua variabel atau lebih. Pada penilitian ini menggunakan metode Cokriging dengan tidak mempertimbangkan arah angina (isotropi) dan dengan mempertimbangkan arah angin (anisotropi) pada konsentrasi SO_2 dan NO_2 di Kota Surabaya.

4.2.1 Hubungan antara Konsentrasi SO_2 dan NO_2

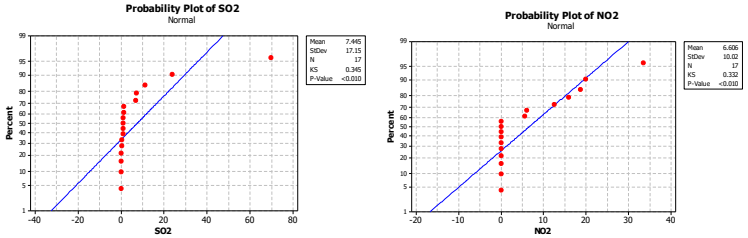
Pada interpolasi cokriging, untuk mengestimasi variabel tergional primer di lokasi yang tidak diambil sampel, maka diperlukan variabel teregional sekunder yang berkorelasi. Terdapat dua cara untuk memilih variabel teregional sekunder, yaitu secara teoritis variabel teregional sekunder berasal dari sumber yang sama atau muncul secara bersamaan dngan variabel teregional primer. Sedangkan cara kedua, yaitu secara empiris kedua variabel teregional berkorelasi secara statistik.

Secara teoritis gas SO_2 dan NO_2 berasal dari pembakaran baik asap kendaraan bermotor maupun pembakaran bahan bakar fosil pada proses produksi di industri. Selain itu, kedua gas ini diukur oleh satu alat yang mampu menganalisis konsentrasi gas di udara secara bersamaan. Mengidentifikasi adanya hubungan antara konsentrasi SO_2 dan NO_2 secara statistik dapat dilakukan dengan pengujian Pearson, dimana hipotesis nol menunjukkan tidak ada korelasi antara dua variabel teregional. Hasil pengujian Pearson

menunjukkan nilai 0,715 dengan *p-value* sebesar 0,001. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa pada taraf signifikansi 1% terdapat korelasi antara konsentrasi SO_2 dan NO_2.

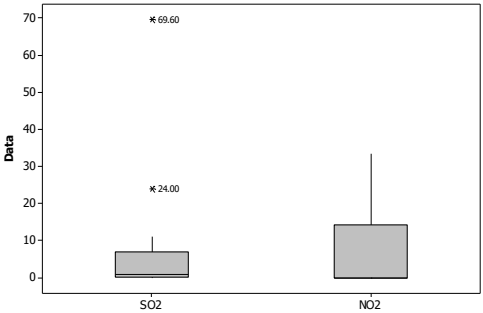
4.2.2 Pengujian Normalitas dan Deteksi *Outlier*

Sebelum melakukan interpolasi Kriging/Cokriging, maka dilakukan uji normalitas dan pengecekan *outlier* pada konsentrasi SO_2 dan NO_2. Hal ini bertujuan untuk mengetahui sebaran data di 17 titik lokasi mengikuti distribusi normal atau tidak. Adapun hasil pengujian normalitas dari konsentrasi SO_2 dan NO_2 ditunjukkan pada Gambar 4.4 sebagai berikut.



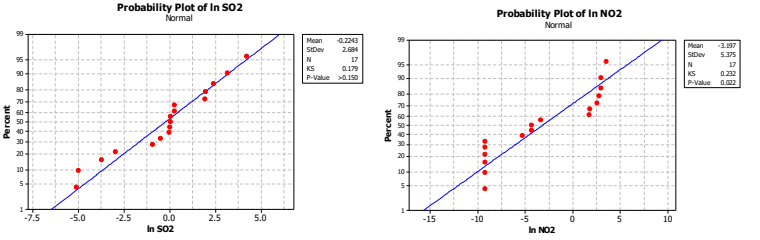
Gambar 4.4 Pengujian Normalitas Konsentrasi SO_2 dan Konsentrasi NO_2

Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa konsentrasi SO_2 dan NO_2 tidak mengikuti distribusi normal. Hal ini dapat dilihat dari nilai *p-value* (<0,001) kurang dari α (0,05). Selanjutnya dilakukan pengecekan *outlier* untuk mengetahui ada tidaknya data pencilan yang mengakibatkan data tidak berdistribusi normal. Pengecekan *outlier* dapat disajikan berupa *boxplot* sebagai berikut.



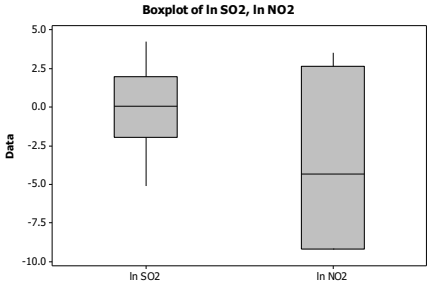
Gambar 4.5 *Boxplot* Konsentrasi SO_2 dan NO_2

Mengidentifikasi adanya *outlier* dapat dilihat dari data pencilan yang keluar dari batas atas dan bawah pada *boxplot*. Berdasarkan Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa konsentrasi SO_2 memiliki data pencilan pada nilai 24 ppm di Kecamatan Rungkut (Panjang Jiwo) dan 69,6 ppm di Kecamatan Gayungan. Oleh sebab itu, dilakukan transformasi ln untuk mengatasi ketidaknormalan dan data pencilan. Setelah dilakukan transformasi, maka diperoleh hasil pengujian normalitas sebagai berikut.



Gambar 4.6 Pengujian Normalitas Hasil Transformasi Konsentrasi SO_2 (kiri) dan Konsentrasi NO_2 (kanan)

Berdasarkan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa data hasil transformasi sudah mengikuti distribusi normal. Hal ini dapat dilihat dari masing-masing nilai *p-value* > α dengan tingkat kesalahan 1%. Kemudian dilakukan pengecekan *outlier* kembali pada data hasil transformasi sebagai berikut.

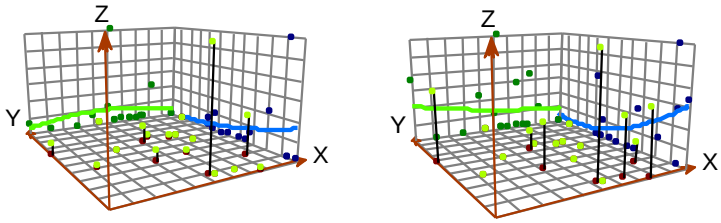


Gambar 4.7 *Boxplot* Hasil Transformasi Konsentrasi SO_2 dan NO_2

Pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa hasil data transformasi dapat menghilangkan data pencilan, sehingga asumsi normalitas dan tidak adanya *outlier* sudah terpenuhi. Oleh karena itu, analisis selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan hasil data transformasi dan dikembalikan lagi saat pengambilan keputusan terakhir.

4.2.3 Pengujian Stasioneritas

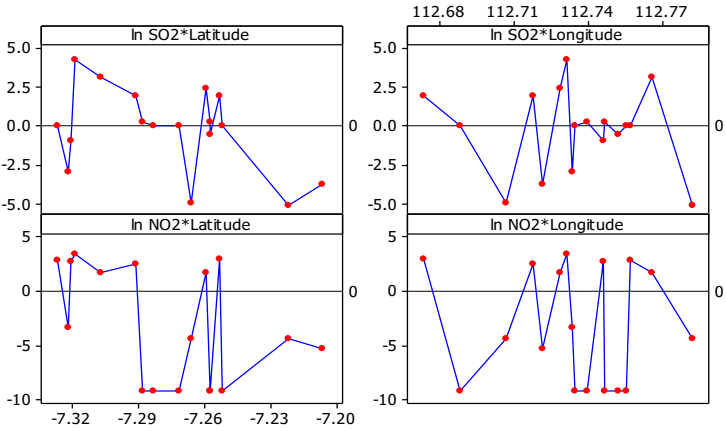
Interpolasi Kriging/Cokriging membutuhkan data yang tidak memiliki tren atau disebut stasioner. Pengujian stasioneritas dapat dilakukan dengan melihat kurva yang terbentuk dari plot 3 dimensi sebagai berikut.



Gambar 4.8 Pengujian Stasioneritas dengan Plot 3 Dimensi Konsentrasi SO_2 (kiri) dan Konsentrasi NO_2 (kanan)

Berdasarkan plot 3 dimensi pada Gambar 4.8, dapat diketahui bahwa konsentrasi gas SO_2 dan NO_2 membentuk pola tertentu baik terhadap titik absis maupun titik ordinat dari lokasi pengamatan. Hal ini dapat dilihat dari kurva warna hijau dan biru yang

membentuk lengkungan atau pola tertentu. Selain itu, untuk mengidentifikasi stasioneritas dapat juga disajikan dalam plot 2 dimensi sebagai berikut.



Gambar 4.9 Pengujian Stasioneritas dengan Plot 2 Dimensi

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa plot 2 dimensi konsentrasi gas SO_2 dan NO_2 membentuk pola tertentu, sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi gas SO_2 dan NO_2 tidak memenuhi asumsi stasioner orde dua. Hal ini dapat diakibatkan oleh adanya pengaruh arah angin yang membawa gas pencemar tersebut atau keterbatasan jumlah data yang digunakan. Oleh Karena itu, pada penilitian ini stasioneritas diasumsikan telah terpenuhi dan akan memperhitungkan arah angin dalam pemilihan model cokriging anisotropi.

4.2.4 Analisis Struktural Semivariogram dan Cross Variogram Eksperimental Terhadap Semivariogram Teoritis untuk Mengestimasi Konsentrasi SO_2

Estimasi cokriging diawali dengan menghitung semivariogram dan cross variogram eksperimental kemudian melakukan *fitting* semivarogram teoritis untuk memilih semivariogram terbaik. Semivariogram teoritis yang digunakan

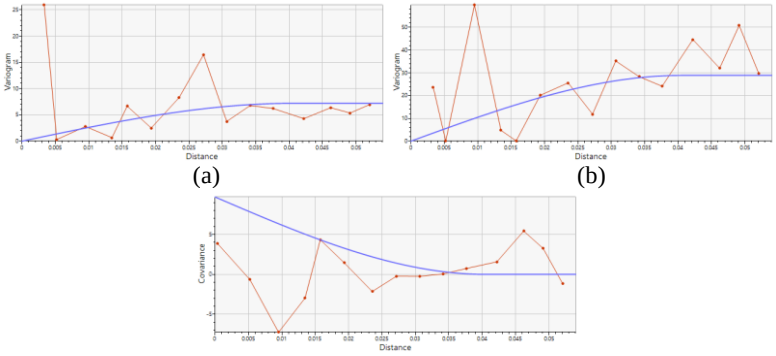
adalah model semivariogram *linear, spherical, exponential,* dan *Gaussian*. Untuk mengestimasi konsentrasi SO_2, maka konsentrasi gas SO_2 berperan sebagai variabel teregional primer dan konsentrasi gas NO_2 sebagai variabel teregional sekunder (kovariat). Dalam pemilihan semivariogram teoritis terbaik akan dibandingkan antara semivariogram isotropi dan anisotropi. Adapun hasil dari semivariogram isotropi untuk beberapa model semivariogram teoritis sebagai berikut.

Tabel 4.3 Nilai Parameter Semivariogram dan *Cross Variogram* Isotropi Konsentasi SO_2

Model Semivariogram	Parameter	Nugget	Partial Sill	Range	RMSE
Linear	SO2 (primer)	0,01	0,00	5,35	2.59
	NO2 (sekunder)	0,01	0,00	10,89	
	Cross Variogram (SO2 x NO2)	0,01	0,00	4,00	
Spherical	SO2 (primer)	0,01	7,21	0,04	2.49
	NO2 (sekunder)	0,01	28,89	0,04	
	Cross Variogram (SO2 x NO2)	0,01	9,70	0,04	
Exponential	SO2 (primer)	0,01	7,00	0,002	2.59
	NO2 (sekunder)	0,01	12,00	0,002	
	Cross Variogram (SO2 x NO2)	0,01	4,00	0,002	
Gaussian	SO2 (primer)	0,01	7,00	0,001	2.56
	NO2 (sekunder)	0,01	12,00	0,001	
	Cross Variogram (SO2 x NO2)	0,01	4,00	0,001	

Berdasarkan Tabel 4.2 menunjukkan bahwa model terpilih untuk semivariogram dan *cross variogram* isotropi dari konsentrasi

SO_2 adalah model *spherical* dengan nilai RMSE terkecil. Adapun gambar dari model semivariogram terpilih sebagai berikut.



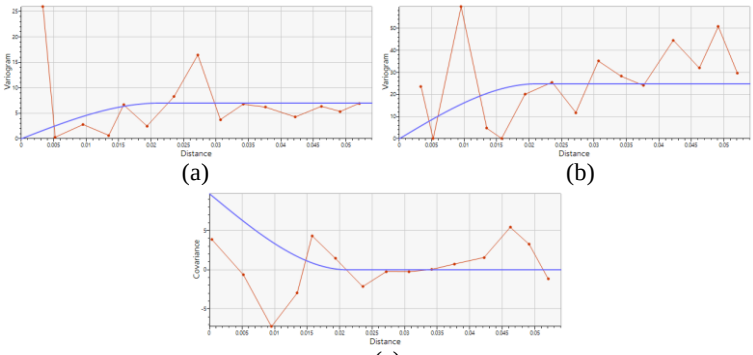
Gambar 4.10 (a) Semivariogram Konsentrasi SO_2, (b) Semivariogram Konsentrasi NO_2, dan (c) *Cross variogram* Isotropi SO_2 dan NO_2

Gambar 4.10 merupakan hasil *fitting* model semivariogram dan *cross variogram* isotropi konsentrasi SO_2 dan NO_2. Berdasarkan Gambar 4.10 menunjukkan bahwa model semivariogram eksperimental yang terbentuk mengikuti model semivariogram *spherical* dengan nilai RMSE terkecil yaitu 2,5349 dibandingkan dengan model lainnya. Artinya, estimasi cokriging untuk konsentrasi SO_2 dapat didekati dengan model semivariogram *spherical*. Selanjutnya, dilakukan *fitting* semivariogram dan *cross variogram* anisotropi terhadap konsentrasi SO_2 dengan menggunakan sudut 110°. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh arah angin yang paling banyak berasal dari sudut 110° selama triwulan ketiga dan keempat tahun 2019. Adapun hasil dari semivariogram isotropi untuk beberapa model semivariogram teoritis sebagai berikut.

Tabel 4.4 Nilai Parameter Semivariogram dan *Cross Variogram* Anisotropi Konsentasi SO_2

Model Semivariogram	Parameter	Nugget	Partial Sill	Range	RMSE
Linear	SO2 (primer)	0,01	0,00	0,06	3,3047
	NO2 (sekunder)	0,01	0,00	0,55	
	Cross Variogram (SO2 x NO2)	0,01	0,00	0,012	
Spherical	SO2 (primer)	0,01	7,00	0,04	2,5652
	NO2 (sekunder)	0,01	24,89	0,04	
	Cross Variogram (SO2 x NO2)	0,01	9,70	0,04	
Exponential	SO2 (primer)	0,01	7,21	0,005	2,7198
	NO2 (sekunder)	0,01	25,89	0,005	
	Cross Variogram (SO2 x NO2)	0,01	4,45	0,005	
Gaussian	SO2 (primer)	0,01	7,00	0,04	8,8650
	NO2 (sekunder)	0,01	35,89	0,04	
	Cross Variogram (SO2 x NO2)	0,01	4,00	0,04	

Pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa model terpilih untuk variogram dan *cross variogram* anisotropi untuk konsentrasi SO_2 dan NO_2 adalah model *spherical* dengan nilai RMSE terkecil. Adapun gambar semivariogram dan *cross variogram* anisotropi terpilih sebagai berikut.



Gambar 4.11 (a) Semivariogram Konsentrasi SO_2, (b) Semivariogram Konsentrasi NO_2, dan (c) *Cross variogram* Anisotropi SO_2 dan NO_2

Berdasarkan Gambar 4.11 menunjukkan bahwa semivariogram dan *cross variogram* anisotropi mengikuti model semivariogram *spherical*. Hal ini juga didukung dengan nilai RMSE terkecil dibandingkan dengan model lainnya yaitu 2,5652. Selain itu, pada model semivariogram isotropi dan anisotropi terpilih diketahui bahwa nilai semivariogram akan mencapai *sill* saat *range* berada pada 0,04 *decimal degrees*. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi SO_2 dan NO_2 tidak memiliki dependensi spasial lagi saat mencapai jarak 0,04 *decimal degrees* atau sekitar 4.452,8 meter.

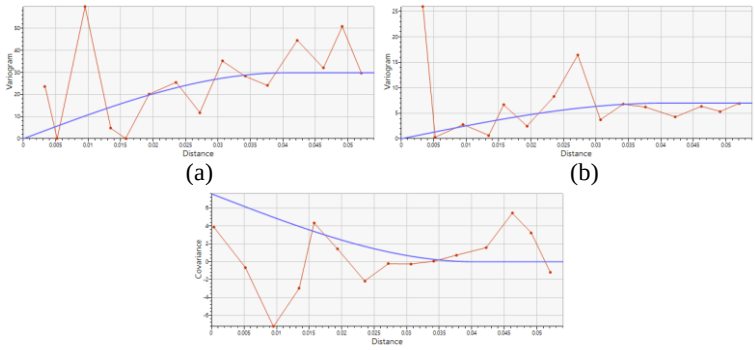
4.2.5 Analisis Struktural Semivariogram dan Cross Variogram Eksperimental Terhadap Semivariogram Teoritis untuk Mengestimasi Konsentrasi NO_2

Pada analisis variogram dan *cross variogram* untuk mengestimasi konsentrasi NO_2, yang berperan sebagai variabel teregional sekunder adalah konsentrasi gas SO_2. Sebelum melakukan estimasi, maka diperlukan *fitting* variogram dan *cross variogram* terhadap beberapa model semivariogram teoritis. Adapun hasil *fitting* variogram dan *cross variogram* konsentrasi SO_2 dan NO_2 sebagai berikut.

Tabel 4.5 Nilai Parameter Semivariogram dan *Cross Variogram* Isotropi Konsentasi NO_2

Model Semivariogram	Parameter	Nugget	Partial Sill	Range	RMSE
Linear	NO2 (primer)	0.01	0,00	42.89	4.7081
	SO2 (sekunder)	0.01	0,00	5.21	
	Cross Variogram (NO2 x SO2)	0.01	0,00	5.80	
Spherical	NO2 (primer)	0.01	29.89	0.041	3.7719
	SO2 (sekunder)	0.01	7,00	0.041	
	Cross Variogram (NO2 x SO2)	0.01	7,60	0.041	
Exponential	NO2 (primer)	0.01	28,89	0.01	4.181
	SO2 (sekunder)	0.01	7,00	0.01	
	Cross Variogram (NO2 x SO2)	0.01	4,00	0.01	
Gaussian	NO2 (primer)	0.01	34,55	0.020	3.7611
	SO2 (sekunder)	0.01	4,21	0.020	
	Cross Variogram (NO2 x SO2)	0.01	4,00	0.020	

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa model semivariogram teoritis yang sesuai dengan variogram eksperimental yang terbentuk adalah model *Gaussian.* Selain itu, dengan model *Gaussian* semivariogram isotropi akan mencapai *sill* saat *range* berada pada 0,02 *decimal degrees.* Hal ini menunjukkan konsentrasi NO_2 tidak memiliki dependensi spasial lagi saat jarak mencapai 0,02 *decimal degrees* atau sekitar 2.226,4 meter. Adapun model semivariogram dan *cross variogram* teoritis isotropi konsentrasi NO_2 ditampilkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 (a) Semivariogram Konsentrasi NO_2, (b) Semivariogram Konsentrasi SO_2, dan (c) *Cross variogram* Isotropi NO_2 dan SO_2

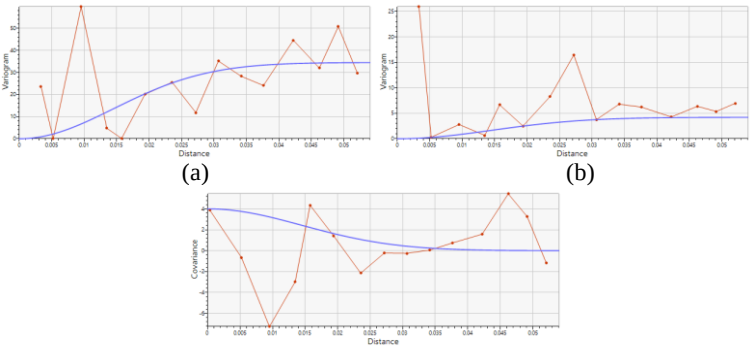
Setelah didapatkan model semivariogram isotropi terpilih, maka dilakukan *fitting* variogram dan *cross variogram* anisotropi terhadap konsentrasi NO_2. Pengaruh sudut yang digunakan pada model semivariogram anisotropi berasal dari arah angin terbanyak yaitu sudut 110°. Kemudian dilakukan *cross validation* terhadap model semivariogram isotropi dan anisotropi terpilih untuk mendapatkan model terbaik.

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa model semivariogram terpilih untuk variogram dan *cross variogram* anisotropi konsentrasi NO_2 adalah model *Gaussian* dengan nilai RMSE terkecil yaitu 3,7611. Selain itu, semivariogram terpilih dapat mencapai *sill* ketika *range* mencapai jarak 0,02. Hal ini dapat diartikan bahwa pada saat *range* mencapai jarak 0,02 *decimal degrees* atau 2.226,4 meter, maka tidak lagi terjadi dependensi spasial. Berdasarkan hasil *fitting* semivariogram isotropi dan anisotropi konsentrasi NO_2, dapat diketahui bahwa model semivariogram isotropi lebih baik daripada anisotropi dimana model semivariogram isotropi terpilih memiliki nilai RMSE lebih kecil dibandingkan anisotropi. Adapun hasil *fitting* beberapa model semivariogram teoritis anisotropi sebagai berikut.

Tabel 4.6 Nilai Parameter Semivariogram dan *Cross Variogram* Anisotropi Konsentasi NO_2

Model Semivariogram	Parameter	Nugget	Partial Sill	Range	RMSE
Linear	NO2 (primer)	0.01	0,00	42.55	4.7116
	SO2 (sekunder)	0.01	0,00	4,21	
	Cross Variogram (NO2 x SO2)	0.01	0,00	5,00	
Spherical	NO2 (primer)	0.01	24.89	0.041	3.8749
	SO2 (sekunder)	0.01	7.00	0.041	
	Cross Variogram (NO2 x SO2)	0.01	7.20	0.041	
Exponential	NO2 (primer)	0,01	30,55	0,01	3.994
	SO2 (sekunder)	0,01	4,21	0,01	
	Cross Variogram (NO2 x SO2)	0,01	4,00	0,01	
Gaussian	NO2 (primer)	0,01	34,55	0,02	3,8529
	SO2 (sekunder)	0,01	4,21	0,02	
	Cross Variogram (NO2 x SO2)	0,01	4,00	0,02	

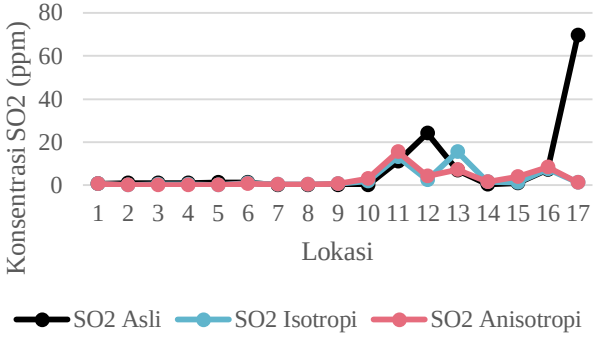
Adapun model semivariogram dan *cross variogram* teoritis anisotropi konsentrasi NO_2 ditampilkan pada Gambar 4.13.



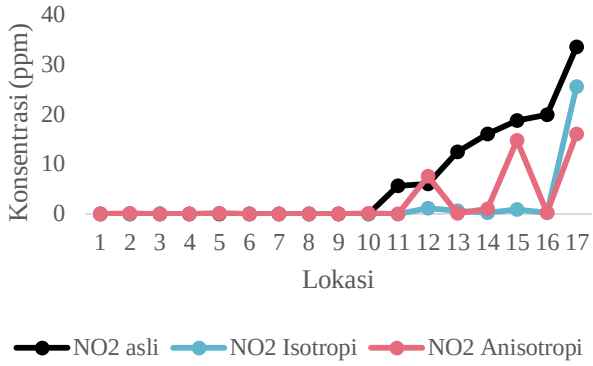
Gambar 4.13 (a) Semivariogram Konsentrasi NO_2, (b) Semivariogram Konsentrasi SO_2, dan (c) *Cross variogram* Anisotropi NO_2 dan SO_2

4.2.6 *Cross Validation* Hasil Semivariogram Isotropi dan Anisotropi Terpilih

Setelah mendapatkan semivariogram teoritis isotropi dan anisotropi terbaik, dilakukan *cross validation* untuk menguji keakuratan estimasi dari model semivariogram teoritis terpilih. *Cross validation* dapat dilakukan dengan meregresikan data hasil pengukuran dengan nilai estimasi konsentrasi SO_2 maupun konsentrasi NO_2 dengan metode cokriging. Adapun perbandingan data hasil pengukuran dengan nilai estimasi ditampilkan pada Gambar 4.14.



(a)



(b)

Gambar 4.14 Perbandingan Data Asli dengan Hasil Estimasi Isotropi dan Anisotropi (a) Konsentrasi SO_2 dan (b) Konsentrasi NO_2

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa hasil estimasi konsentrasi SO_2 dan NO_2 menggunakan semivariogram teoritis anisotropi lebih mendekati nilai data asli jika dibandingkan dengan semivariogram isotropi. Hasil *cross validation* juga menunjukkan bahwa nilai RMSE yang diperoleh pada estimasi konsentrasi SO_2 dan NO_2 dengan semivariogram anisotropi masing-masing sebesar 17,366 dan 8,115. Sedangkan hasil RMSE untuk estimasi konsentrasi SO_2 dan NO_2 dengan semivariogram isotropi masing-masing sebesar 17,546 dan 8,442. Adapun hasil *cross validation* antara data asli dengan hasil estimasi konsentrasi SO_2 dan NO_2 ditampilkan pada Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.7 Hasil *Cross Validation* Data Asli dengan Hasil Estimasi Konsentrasi SO_2 dan NO_2 Menggunakan Semivariogram Isotropi dan Anisotropi

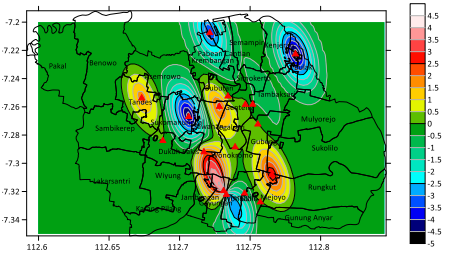
Variabel	RMSE Isotropi	RMSE Anisotropi
Konsentrasi SO_2	17,54617339	17,36649551
Konsentrasi NO_2	8,442279213	8,114631652

Kebaikan model antara semivariogram teoritis anisotropi dan isotropi dapat dilihat dari nilai RMSE hasil *cross validation*. Berdasarkan nilai RMSE yang lebih kecil pada semivariogram anisotropi menunjukkan bahwa semivariogram anisotropi lebih baik dibandingkan dengan isotropi. Hal ini juga membuktikan

bahwa pengaruh sudut mempengaruhi kestasioneran data. Pengaruh sudut dalam estimasi konsentrasi SO_2 dan NO_2 berasal dari arah angin terbesar, dimana secara teori menjelaskan bahwa polutan udara bergerak mengikuti arah angin. Oleh karena itu, estimasi konsentrasi SO_2 dan NO_2 pada penelitian ini menggunakan semivariogram anisotropi terpilih.

4.2.7 Hasil Estimasi konsentrasi SO_2 dan NO_2 Menggunakan Interpolasi Cokriging

Estimasi konsentrasi SO_2 dilakukan dengan menggunakan semivariogram anisotropi model *spherical* sehingga didapatkan peta kontur persebaran konsentrasi SO_2 di Kota Surabaya sebagai berikut.



Gambar 4.14 Hasil Interpolasi Cokriging Konsentrasi SO_2 Menggunakan Semivariogram Anisotropi *Spherical*

Pada Gambar 4.14 menunjukkan nilai estimasi konsentrasi SO_2 serta lokasi yang dapat didekati oleh metode *ordinary* cokriging. Berdasarkan Gambar 4.14 dapat diketahui bahwa konsentasi SO_2 tertinggi berada di daerah Surabaya Selatan yaitu Wonokromo dan sekitarnya. Hal ini ditandai dengan warna merah dan oranye di beberapa titik lokasi seperti Wonokromo, Gubeng, Tandes, Gayungan, Rungkut, dan Tenggilis Mejoyo. Sedangkan lokasi dengan konsentrasi SO_2 yang rendah berada di daerah Surabaya Selatan dan Surabaya Utara seperti Kecamatan Bulak, Pabean Cantikan, Sukomanunggal, dan Wonocolo.

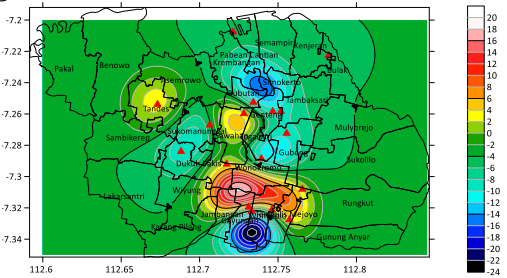
Tabel 4.8 Hasil Interpolasi Cokriging Konsentrasi SO_2 di Beberapa Lokasi yang Ingin Diketahui

No.	Longitude (x)	Lattitude (Y)	Konsentrasi SO_2 (ppm)
1	112.70433	-7.26544	0.01228
2	112.78089	-7.20937	0.060162
3	112.78063	-7.30206	0.770063
4	112.74402	-7.30231	0.911645
5	112.73967	-7.30539	1.00337
6	112.67515	-7.23395	1.028454
7	112.68231	-7.28055	1.063876
8	112.67643	-7.26954	1.856713
9	112.76399	-7.32408	1.974855
10	112.67387	-7.24112	1.980509
11	112.67745	-7.26109	3.341936
12	112.75657	-7.29694	3.379607
13	112.73429	-7.26980	3.382111
14	112.77398	-7.31332	3.578782
15	112.67438	-7.25443	5.902501
16	112.77014	-7.31025	8.08811
17	112.76297	-7.30308	11.9332
18	112.76502	-7.30846	18.97478
19	112.72251	-7.29796	20.03757
20	112.70613	-7.25725	29.922
21	112.72456	-7.31384	31.8767
22	112.72943	-7.31793	44.85271
23	112.72866	-7.31384	54.07592
24	112.72840	-7.31486	56.96865
25	112.72943	-7.31588	57.26473

Tabel 4.8 menunjukkan konsentrasi SO_2 di 25 titik lokasi di Kota Surabaya yang belum terukur oleh alat pemantauan kualitas

udara portabel. Hasil estimasi konsentrasi SO_2 didekati oleh nilai konsentrasi SO_2 yang telah terukur. Berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui nilai minimum konsentrasi SO_2 pada 25 titik lokasi tersebut adalah 0,01228 ppm di Sukomanunggal, sedangkan nilai maksimumnya sebesar 57,26 ppm di Gayungan. Ambang batas konsentrasi SO_2 di udara adalah sebesar 0,1 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa hanya terdapat 2 lokasi yang memenuhi ambang batas kualitas udara ambien diantara 25 titik lokasi yang ingin diketahui. Selain itu, konsentrasi SO_2 yang masih tergolong tinggi di beberapa titik lokasi dapat menurunkan kualitas udara ambien di Kota Surabaya.

Selanjutnya, dilakukan estimasi konsentrasi NO_2 dengan menggunakan semivariogram anisotropi model *Gaussian* sehingga didapatkan peta kontur persebaran konsentrasi NO_2 di Kota Surabaya sebagai berikut.



Gambar 4.15 Hasil Interpolasi Cokriging Konsentrasi NO_2 Menggunakan Semivariogram Anisotropi *Gaussian*

Gambar 4.15 menunjukkan nilai estimasi konsentrasi NO_2 serta lokasi yang dapat didekati oleh metode cokriging. Berdasarkan Gambar 4.15 dapat diketahui bahwa lokasi dengan konsentrasi NO_2 tertinggi berada di daerah Surabaya Selatan yaitu perbatasan antara Kecamatan Wonokromo, Jambangan, Gayungan, dan Wonocolo. Sedangkan konsentrasi NO_2 terendah berada di Kecamatan Gayungan dan Wonocolo bagian selatan.

Adapun nilai estimasi di beberapa titik lokasi yang ingin diketahui dapat disajikan pada tabel sebagai berikut.

Tabel 4.9 Hasil Interpolasi Cokriging Konsentrasi NO_2 di Beberapa Lokasi yang Ingin Diketahui

No.	Longitude (x)	Lattitude (Y)	Konsentrasi NO_2 (ppm)
1	112.7763	-7.2273	0.012567
2	112.7763	-7.21475	0.014217
3	112.7005	-7.25316	0.014827
4	112.7666	-7.21219	0.015324
5	112.6949	-7.21142	0.0159
6	112.6754	-7.31768	0.016432
7	112.7059	-7.24164	0.017328
8	112.6787	-7.32511	0.019352
9	112.6764	-7.21245	0.021822
10	112.6938	-7.23498	0.047325
11	112.7704	-7.29976	0.063502
12	112.6951	-7.32587	0.066435
13	112.741	-7.32178	0.088588
14	112.701	-7.32587	0.217755
15	112.7366	-7.26827	0.264159
16	112.7161	-7.28209	0.326832
17	112.6792	-7.23498	0.39375
18	112.7343	-7.26801	1.554576
19	112.7064	-7.32357	2.344118
20	112.6818	-7.24778	3.110437
21	112.6759	-7.24932	14.2367
22	112.7307	-7.26724	19.67325
23	112.7655	-7.32408	22.26114
24	112.7072	-7.31947	33.98396
25	112.7253	-7.2657	181.5759

Tabel 4.9 menunjukkan nilai estimasi hasil interpolasi cokriging untuk konsentrasi NO_2 dengan menggunakan semivariogram anisotropi *Gaussian*. Pada 25 titik lokasi yang diestimasi, dapat diketahui bahwa nilai minimum dari konsentrasi NO_2 adalah 0,012567 ppm di Jl. Kedinding Tengah Sekolah, Kenjeran. Sedangkan nilai konsentrasi NO_2 tertinggi adalah sebesar 181,5759 ppm di Jl. Kedung Anyar, Sawahan. Batas ambang konsentrasi NO_2 di udara adalah sebesar 0,05 ppm per 24 jam. Jika dilihat pada Tabel 4.9, dapat diketahui 10 dari 25 lokasi yang diestimasi masih berada di bawah ambang batas kualitas udara. Sedangkan 15 lokasi lainnya masih tergolong tinggi akan konsentrasi NO_2. Hal ini juga menyebabkan kualitas udara ambien Kota Surabaya menurun akibat tinggi konsentrasi SO_2 dan NO_2 di beberapa titik lokasi.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa hasil estimasi konsentrasi NO_2 dan SO_2 terbaik pada kualitas udara ambien Kota Surabaya di titik-titik lokasi tertentu didapatkan dengan menggunakan model semivariogram anisotropi. Pengaruh sudut yang digunakan pada model semivariogram anisotropi adalah 110°. Model semivariogram anisotropi teoritis terpilih untuk konsentrasi SO_2 dan NO_2 adalah *spherical* dan *Gaussian*. Metode yang digunakan dalam estimasi konsentrasi NO_2 dan SO_2 adalah interpolasi *ordinary* cokriging, dimana rata-rata konstan dan tidak diketahui.

5.2 Saran

Saran yang dapat direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya adalah pertimbangan dalam memilih pasangan variabel teregional agar hasil estimasi yang diperoleh dapat lebih akurat. Kemudian kecukupan data dan lokasi yang diketahui juga mempengaruhi asumsi yang harus dipenuhi untuk dapat menentukan metode yang tepat digunakan dalam interpolasi kriging/cokriging. Sedangakan bagi pemerintah, untuk bisa memantau kembali kegiatan masyarakat yang dapat meningkatkan konsentrasi SO_2 dan NO_2. Selain itu, pemerintah juga dapat menggalakkan kegiatan atau aktivitas yang lebih ramah lingkungan baik dari penggunaan kendaraan bermotor atau kawasan industri agar kualitas udara Kota Surabaya tetap terjaga dan aman masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

Alemi, M.H., Shahriari, M.R., Nielsen, D.R. (1988). Kriging and Cokriging of Soil Water Properties. *Soil Technology, 1 No. 2*, 117-132.

Alfiana, A. (2010). *Metode Ordinary Kriging pada Geostatistika.* D.I. Yogyakarta: Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.

Amstrong, M. (1998). *Basic Linear Geostatistics* . Berlin: Springer.

Andayani, N. (2002). *Analisis Polutan Karbon Monoksida (CO) dengan Menggunakan Metode Statistik untuk Data Spatial.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

Cressie, N. (1991). *Statistics for Spatial Data.* New York: Wiley.

Dahlan, E. N. (1989). Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Manusia dan Beberapa Komponen Sumber Daya Alam. *Media Konservasi*, Vol. 2, 39-44.

Dodi, N. (2004). *Hujan Asam Suatu Fenomena yang Mengancam Kelestarian Hutan.* Bogor: Staf Pengajar Jurusan Teknologi Hasil Hutan - IPB.

Isaaks, H.E. dan Srivastava, R.M. (1989). *Applied Geostatistics.* New York: Oxford University Press.

Jaya, A. (2002). *Pendugaan Spasial Sebaran Ketinggian Model Interpolasi Ordinary Kriging untuk Mendapatkan Sebaran Kontinu Suhu Permukaan.* Bogor: Institut Pertanian Bogor.

LeMay, N. (1995). *Variogram Modeling and Estimation.* Denver: Thesis Master of Science Applied Mathematics, University of Colorado.

Matheron, G. (1971). *The Theory of Regionalized Variabels and Its Applications.* Paris: École Nationale Supérieure des Mines de Paris.

Memarsadeghi, N. (2004). *Cokriging Interpolation.* Maryland: Computer Science Department of University of Maryland.

Nayyiroh. (2016). *Estimasi Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO2) di Kota Surabaya Menggunakan Cokriging, Tugas Akhir*. Surabaya: Jurusan Statistika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh November.

Omre, H. (1984). *Introduction To Geostatistical Theory and Examples of Practical Applications.* Norway: Norwegian Computing Center.

Pang, S., Li, T., Wang, Y., Yu, H., and Li X. (2009). *Spatial Interpolation and Sample Size Optimization for Soil Copper (Cu) Investigation in Cropland Soil at Country Scale Using Cokriging.* China: Agricultural Science.

Putri, D. (2013). *Estimasi Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO2) dan Karbon Monoksida (CO) di Udara Surabaya Menggunakan Cokriging, Tugas Akhir*. Surabaya: Jurusan Statistika FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh November.

Rachmawati, D. (2009). *Pendugaan Kadar NO2 dengan Metode Ordinary Kriging dan Cokriging (Studi Kasus: Pencemaran Udara di Kota Bogor), Skripsi.* Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Robinson, T.P., and Metternicht, G. (2006). *Testing The Performance of Spatial.* Computers and Electronics in Agriculture.

Rucker, D. (2007). *Technical Note: Cokriging with Gstat Package of The Environment for Statistical Computing.* Netherlands: International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC) .

Setiyowati, D. (2015). *Cokriging pada Interpolasi Konsentrasi Sulfur Dioksida (SO2) dan Nitrogen Dioksida (NO2) di DKI Jakarta, Tesis.* Surabaya: Jurusan Statistika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh November.

Tallon, L. A. (2017). Cognitive Impacts of Ambient Air Pollution in The National Social Health and Aging Project (NSHAP) Cohort. *Enviromental International*, Vol. 104, 102-109. .

Wackernagel, H. (1995). *Multivariate Geostatistics : An Introduction with Applications.* New York: Springer.

Walpole. (1995). *Pengantar Metode Statistika.*

Yalcin, E. (2005). Cokriging and Its Effect on The Estimation Precision. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol 106, 223-228.

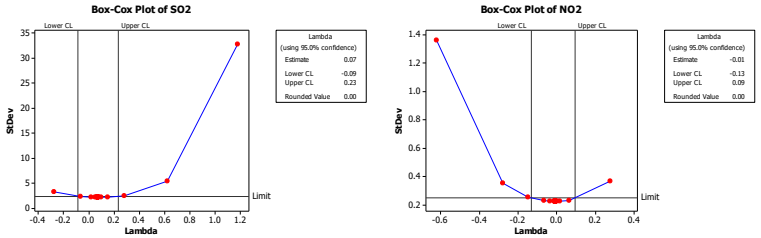
Zimmerman, D. and Stein M. (2010). *Handbook of Spatial Statistics : Part II. Continuous Spatial Variation - Classical Geostatistics Methods.* United States of America: Chapman & Hall, CRC Press.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Konsentrasi SO_2 dan NO_2 di 17 Titik Lokasi Kota Surabaya

No.	Lokasi	Latitude	Longitude	SO_2	NO_2
1	Area Kantor Kecamatan Genteng	-7.25771	112.751	0.60	0.0001
2	Area Kantor Kecamatan Dukuh Pakis	-7.28339	112.688	1.03	0.0001
3	Area Kantor Kecamatan Bubutan	-7.25192	112.734	1.04	0.0001
4	Area Kantor Kecamatan Gubeng	-7.27176	112.755	1.05	0.0001
5	Area Car Free Day Jl. Darmo	-7.28796	112.739	1.30	0.0001
6	Area Car Free Day Jl. Jimerto	-7.25780	112.746	1.315	0.0001
7	Jl. Nilam Barat Surabaya	-7.20703	112.721	0.02	0.01
8	Jl. Simo Pomahan I Surabaya	-7.26646	112.706	0.01	0.01
9	Jl. Nambangan Surabaya	-7.22208	112.782	0.01	0.01
10	Jl. Ahmad Yani Surabaya	-7.32160	112.733	0.05	0.03
11	Jl. Argopuro Surabaya	-7.25925	112.728	11.10	5.62
12	Jl. Panjang Jiwo Surabaya	-7.30749	112.765	24	6
13	Jl. Mayjen Sungkono Surabaya	-7.29144	112.717	7	13
14	Jl. Raya Jemursari Surabaya	-7.32064	112.746	0.40	16.00
15	Jl. Rungkut Industri I Surabaya	-7.32693	112.757	0.99	18.70
16	Jl. Buntaran Surabaya	-7.25323	112.673	7.14	19.92
17	Jl. Ketintang Baru I Surabaya	-7.31887	112.731	69.60	33.50

Lampiran 2. *Output* Transformasi Box-Cox Terhadap Konsentrasi SO_2 dan NO_2 dengan Menggunakan Minitab

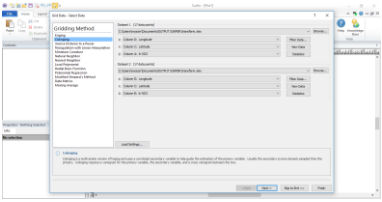


Lampiran 3. Hasil Transformasi *ln* Terhadap Konsentrasi SO_2 dan NO_2

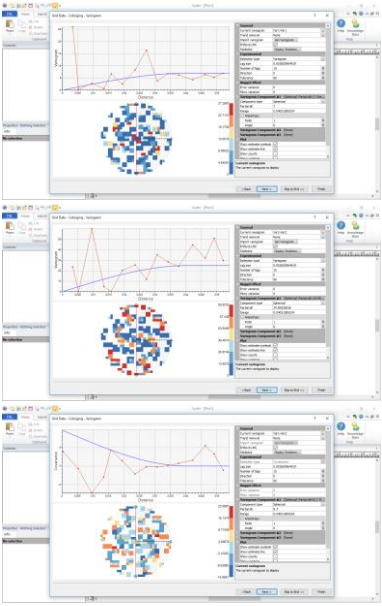
Latitude	Longitude	ln SO2	ln NO2
-7.25772	112.7518	-0.50667	-9.21034
-7.2834	112.6881	0.024693	-9.21034
-7.25192	112.7343	0.041622	-9.21034
-7.27176	112.7555	0.052592	-9.21034
-7.28796	112.7394	0.264285	-9.21034
-7.25781	112.7466	0.273837	-9.21034
-7.20703	112.7214	-3.7297	-5.29832
-7.26646	112.7064	-4.97623	-4.34281
-7.22209	112.7821	-5.09947	-4.31999
-7.3216	112.7332	-2.95651	-3.38139
-7.25925	112.7282	2.406945	1.726332
-7.30749	112.7655	3.178054	1.791759
-7.29144	112.7172	1.931521	2.525729
-7.32065	112.7461	-0.91629	2.772589
-7.32694	112.7572	-0.01005	2.928524
-7.25324	112.6731	1.965573	2.991624
-7.31888	112.7313	4.242765	3.511545

Lampiran 4. Langkah-langkah Estimasi Konsentrasi SO_2 dan NO_2 dengan Menggunakan Surfer

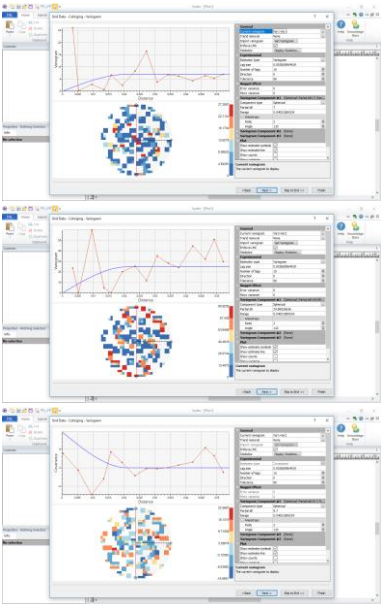
1. Melakukan *gridding* data konsentrasi SO_2 dengan metode estimasi cokriging



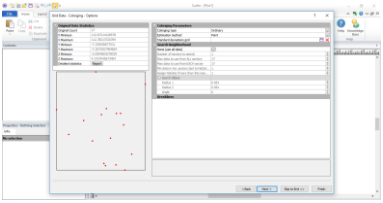
2. Melakukan *fitting* variogram dan *cross variogram* konsentrasi SO_2 dengan memilih model semivariogram isotropi teoritis terbaik



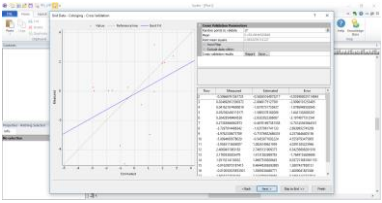
3. Melakukan *fitting* variogram dan *cross variogram* konsentrasi SO_2 dengan memilih model semivariogram anisotropi teoritis terbaik dengan pengaruh sudut 110°



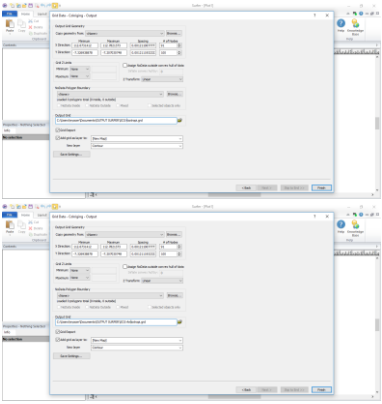
4. Memilih tipe *ordinary* cokriging yang digunakan untuk mengestimasi konsentrasi SO_2



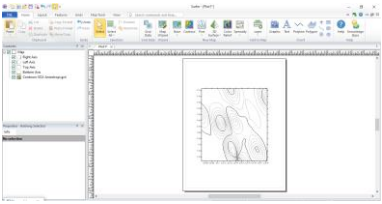
5. Melakukan *cross validation* dan hasil estimasi *ordinary* cokriging pada konsentrasi SO_2



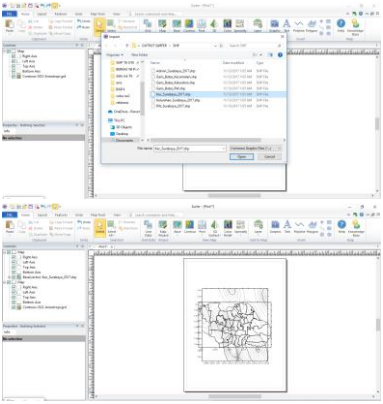
6. Menyimpan *file* hasil *gridding* data model isotropi dan anisotropi dengan menggunakan metode *ordinary* cokriging pada konsentrasi SO_2



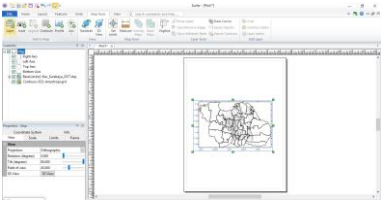
7. Menampilkan hasil *gridding* data estimasi konsentrasi SO_2 model semivariogram anisotropi terpilih



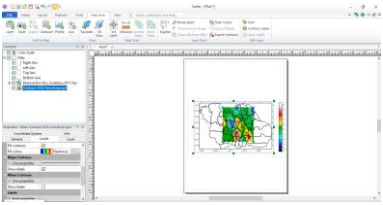
8. Menambahkan *base* peta Kota Surabaya



9. Melakukan *overlay* untuk menggabungkan hasil *gridding* dengan peta Kota Surabaya



10. Menampilkan gradasi warna dan skala hasil *gridding* data untuk memunculkan peta kontur akhir



11. Melakukan estimasi konsentrasi NO_2 dengan mengulangi langkah 1 sampai 10 di atas.

Lampiran 5. Output *Minitab* Korelasi antara Konsentrasi SO_2 dan NO_2

Correlations: SO2, NO2

```
Pearson correlation of SO2 and NO2 = 0.710
P-Value = 0.001
```

Lampiran 6. Output Perbandingan Data Asli dan Estimasi Hasil *cross validation*

Konsentrasi SO_2

Lokasi	Latitude	Longitude	Data Asli	Estimasi Isotropi	Estimasi Anisotropi
Area Kantor Kecamatan Genteng	-7.25772	112.7518	0.6025	0.801	0.569
Area Kantor Kecamatan Dukuh Pakis	-7.2834	112.6881	1.025	0.022	0.055
Area Kantor Kecamatan Bubutan	-7.25192	112.7343	1.0425	0.291	0.159
Area Kantor Kecamatan Gubeng	-7.27176	112.7555	1.054	0.294	0.204
Area Car Free Day Jl. Darmo	-7.28796	112.7394	1.3025	0.186	0.053
Area Car Free Day Jl. Jimerto	-7.25781	112.7466	1.315	0.821	0.626
Jl. Nilam Barat Surabaya	-7.20703	112.7214	0.024	0.337	0.354
Jl. Simo Pomahan I Surabaya	-7.26646	112.7064	0.0069	0.499	0.487
Jl. Nambangan Surabaya	-7.22209	112.7821	0.0061	0.571	0.581
Jl. Ahmad Yani Surabaya	-7.3216	112.7332	0.052	1.814	2.952
Jl. Argopuro Surabaya	-7.25925	112.7282	11.1	13.209	15.635
Jl. Panjang Jiwo, Surabaya	-7.30749	112.7655	24	2.563	4.108
Jl. Mayjen Sungkono Surabaya	-7.29144	112.7172	6.9	15.410	7.162

Lampiran 6. Output Perbandingan Data Asli dan Estimasi Hasil *cross validation* (Lanjutan)

Konsentrasi SO_2

Lokasi	Latitude	Longitude	Data Asli	Estimasi Isotropi	Estimasi Anisotropi
Jl. Raya Jemursari	-7.32065	112.7461	0.4	1.555	1.591
Jl. Rungkut Industri I Surabaya	-7.32694	112.7572	0.99	1.282	4.018
Jl. Buntaran Surabaya	-7.25324	112.6731	7.139	7.429	8.454
Jl. Ketintang Baru I Surabaya	-7.31888	112.7313	69.6	1.128	1.153

Konsentrasi NO_2

Lokasi	Latitude	Longitude	Data Asli	Estimasi Isotropi	Estimasi Anisotropi
Area Kantor Kecamatan Genteng	-7.25772	112.7518	0.0001	0.00009	0.00008
Area Kantor Kecamatan Dukuh Pakis	-7.2834	112.6881	0.0001	0.128175	0.083356
Area Kantor Kecamatan Bubutan	-7.25192	112.7343	0.0001	0.025997	0.016765
Area Kantor Kecamatan Gubeng	-7.27176	112.7555	0.0001	0.000901	0.001273
Area Car Free Day Jl. Darmo	-7.28796	112.7394	0.0001	0.077536	0.134096
Area Car Free Day Jl. Jimerto	-7.25781	112.7466	0.0001	0.000222	0.00009
Jl. Nilam Barat Surabaya	-7.20703	112.7214	0.01	0.000935	0.001257

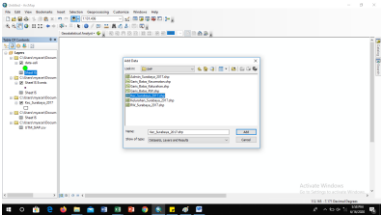
Lampiran 6. Output Perbandingan Data Asli dan Estimasi Hasil *cross validation* (Lanjutan)

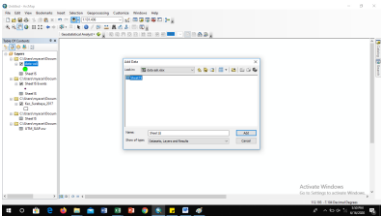
Konsentrasi NO_2

Lokasi	Latitude	Longitude	Data Asli	Estimasi Isotropi	Estimasi Anisotropi
Jl. Simo Pomahan I Surabaya	-7.26646	112.7064	0.01	0.001	0.015002
Jl. Nambangan Surabaya	-7.22209	112.7821	0.01	0.00021	0.000382
Jl. Ahmad Yani Surabaya	-7.3216	112.7332	0.03	0.02809	0.073446
Jl. Argopuro Surabaya	-7.25925	112.7282	5.62	0.02127	0.007142
Jl. Panjang Jiwo, Surabaya	-7.30749	112.7655	6	9.33952	7.639076
Jl. Mayjen Sungkono Surabaya	-7.29144	112.7172	13	0.10319	0.115113
Jl. Raya Jemursari	-7.32065	112.7461	16.00	0.70492	1.073662
Jl. Rungkut Industri I Surabaya	-7.32694	112.7572	18.70	2.96467	14.69814
Jl. Buntaran Surabaya	-7.25324	112.6731	19.92	0.35652	0.20066
Jl. Ketintang Baru I Surabaya	-7.31888	112.7313	33.50	55.4950	16.05821

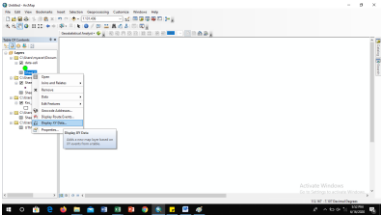
Lampiran 7. Langkah – langkah plot 3 dimensi dengan menggunakan ArcMap

1. Impor *file* shp Kota Surabaya dan dataset konsentrasi SO_2 dan NO_2 di 17 lokasi ke ArcMap

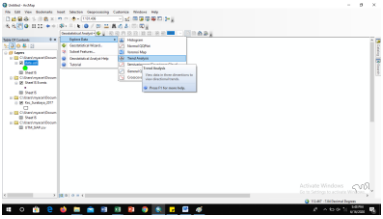




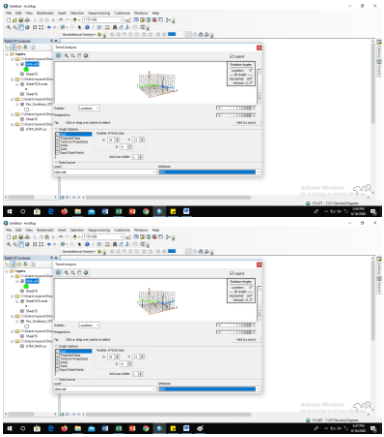
2. Membuat layer untuk menampilkan titik lokasi dari dataset



3. Membuat plot 3 dimensi dari dataset konsentrasi SO_2 dan NO_2 dengan menggunakan *trend analysis*



4. Menampilkan plot 3 dimensi dari masing-masing konsentrasi SO_2 dan NO_2 terhadap garis lintang dan bujur



BIODATA PENULIS

Penulis dengan nama lengkap Yuniar Dewi Safitri dilahirkan di Surabaya pada tanggal 29 Januari 1998. Penulis menempuh Pendidikan formal di SDN Pabean 1, SMPN 1 Waru, dan SMAN 15 Surabaya. Setelah lulus SMA penulis diterima sebagai Mahasiswa Departemen Statistika ITS melalui jalur undangan SNMPTN pada tahun 2016. Selama perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan dan organisasi di KM ITS. Anak kedua dari dua bersaudara ini pernah bergabung dalam organisasi kemahasiswaan seperti *Staff* Dalam Negeri HIMASTA-ITS 2017/2018, *Staff* Pewacanaan Divisi Pers HIMASTA-ITS 2017/2018, *Staff* DPs/PSDM BEM FMKSD 2018/2019, dan *Staff* Internal BSO IECC ITS 2018. Selain itu penulis pernah mengikuti beberapa *project* sebagai *data analyst* dan *job survey* lainnya sebagai pengaplikasian ilmu statistika. Pada bulan Juni-Juli 2019 penulis berkesempatan untuk melakukan *internship program* di Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya. Apabila pembaca ingin memberi kritik dan saran serta ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email yuniar.nia.yn@gmail.com.