

PERBANDINGAN KONSENTRASI NO₂, SO₂ DAN PARTIKEL DEBU LUARAN WRF-CHEM DENGAN DATA PENGUKURAN : STUDI KASUS DKI JAKARTA 2009

COMPARISON OF CONCENTRATION NO₂, SO₂, AND DUST PARTICLE FROM WRF-CHEM WITH DATA MEASUREMENT : CASE STUDY DKI JAKARTA 2009

Eko Heriyanto dan Tri Astuti Nuraini

Pusat Penelitian dan Pengembangan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Angkasa I No 2 Kemayoran, Jakarta 10720

Pos-el: e.heriyanto@gmail.com

ABSTRACT

Air quality research is necessary to determine the air quality and environmental quality of an area. We simulate concentration of Sulfur Dioxide (SO₂), Sodium Dioxide (NO₂), and total dust particles (TSP) over Jakarta January and July 2009 using WRF-Chem. As model input we use Jakarta emission inventory data and the Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) and simulate it separately. The model outputs from the two different emissions inputs then are compared with BMKG measurement at five locations in Jakarta, i.e. Ancol, Bandengan, Glodok, Kemayoran, and Monumen Nasional. The results show that WRF-CHEM underestimate the concentration of SO₂, NO₂, and TSP over Jakarta. The concentration of each parameter in January (representing rainy season) is lower than the concentration in July (representing the dry season). The output from simulation using local emission data has better correlation value and small error compared to the one using global data.

Keywords: Air Quality, Emission, WRF-CHEM, EDGAR.

ABSTRAK

Penelitian terkait kualitas udara penting dilakukan untuk mengetahui kualitas udara dan lingkungan suatu wilayah. Data konsentrasi sulfur dioksida (SO₂), natrium dioksida (NO₂), dan partikel debu total (TSP) dihasilkan oleh simulasi WRF-CHEM periode Januari dan Juli. Simulasi model dilakukan dengan menggunakan data emisi lokal yang diperoleh dari inventarisasi emisi wilayah Jakarta dan data emisi global *The Emissions Database for Global Atmospheric Research* (EDGAR) tahun 2009. Luaran model dari dua masukan data emisi yang berbeda dibandingkan dengan data pengukuran BMKG pada lima lokasi di wilayah Jakarta, yaitu Ancol, Bandengan, Glodok, Kemayoran, dan Monas. Berdasarkan nilai data pengukuran dengan hasil model menggunakan emisi global dan emisi lokal menunjukkan bahwa hasil model *under estimate* terhadap pengukuran. Peningkatan konsentrasi terjadi pada bulan Januari (mewakili musim hujan) menuju bulan Juli (mewakili musim kering). Terdapat perbaikan nilai korelasi hasil pengukuran terhadap emisi lokal dibandingkan hasil pengukuran dengan emisi global. Secara umum korelasi emisi lokal terhadap data pengukuran lebih baik dan mempunyai error yang lebih kecil dari emisi global.

Kata kunci : Kualitas Udara, Emisi, WRF-CHEM, EDGAR

PENDAHULUAN

Polusi di suatu wilayah memengaruhi lingkungan dan mutu kualitas udara di wilayah tersebut. Kualitas udara di wilayah perkotaan yang merupakan kawasan industri dan kawasan padat lalu lintas memberikan andil dalam penurunan kualitas kesehatan masyarakat sekitar daerah tersebut. Oleh karena sangat diperlukan studi yang mengkaji tentang kualitas udara wilayah perkotaan.

Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/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.¹ Pencemar udara utama yang berasal dari kegiatan manusia berupa gas buangan hasil pembakaran bahan bakar fosil dan industri. Perkiraan persentase komponen pencemar udara utama di Indonesia khususnya transportasi dan industri yaitu: karbon monoksida (CO) 70,50%, oksida sulfur (SO_x) 0,9%, nitrogen oksida (NO_x) 8,9%, partikulat sebesar 1,33%, hidrokarbon (HC) 18,34%.²

Kendaraan bermotor dapat mengeluarkan emisi gas buang antara lain SO_x, NO_x, CO, HC, dan partikulat debu. Konsentrasi CO dan NO₂ merupakan parameter pencemaran udara yang sangat perlu diperhatikan karena merupakan dampak dari kepadatan lalu lintas kendaraan bermotor. Jika konsentrasi udara di atas standar baku mutu maka gas tersebut cukup berbahaya bagi kesehatan manusia, bahkan dapat mengakibatkan kematian. Kendaraan bermotor merupakan sumber utama CO dan NO₂ terutama pada kendaraan yang sudah tua, sehingga mesin kendaraan kurang berfungsi secara baik.³

Menurut Sugiarti,⁴ secara umum penyebab pencemar udara ada dua macam yaitu secara alamiah seperti: debu yang berterbangan akibat tiupan angin, abu (debu) yang dikeluarkan dari letusan gunung berikut gas-gas vulkanik dan proses pembusukan sampah organik dan lain-lain. Kedua adalah faktor eksternal (ulah manusia) seperti hasil pembakaran bahan bakar fosil, debu dari kegiatan industri dan pemakaian zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara.

WRF-CHEM adalah model WRF yang ditambah dengan modul *chemistry* (kimia). Model tersebut dapat mensimulasikan emisi, transportasi, pencampuran, dan transformasi kimia jejak gas dan aerosol bersamaan dengan proses meteorologi.

Penelitian terkait WRF-CHEM dilakukan oleh Fast et.al dengan melakukan simulasi variasi skala urban hingga regional dibandingkan dengan data pengukuran kualitas udara Texas selama tahun 2000.⁷ Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan konsentrasi data pengukuran dengan hasil model menggunakan emisi global dan emisi lokal.

METODOLOGI

Data

Bahan penelitian berupa data untuk masukan model dan bahan analisis serta verifikasi. Periode waktu yang digunakan pada kajian ini bulan Januari dan bulan Juli tahun 2009. Jenis dan sumber data yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Dalam penelitian ini, data sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), dan *Suspended Particulate Matter* (SPM) diperoleh dari model. Model ini dikembangkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dan bekerja sama dengan beberapa universitas.⁵ Masukan data model diperoleh dari inventarisasi emisi lokal wilayah Jakarta dan data emisi global *The Emissions Database for Global Atmospheric*

Research (EDGAR). Periode waktu yang digunakan adalah bulan Januari (mewakili musim hujan) dan bulan Juli (mewakili musim kemarau) tahun 2009.

Tabel 1. Jenis dan Sumber Data yang Digunakan

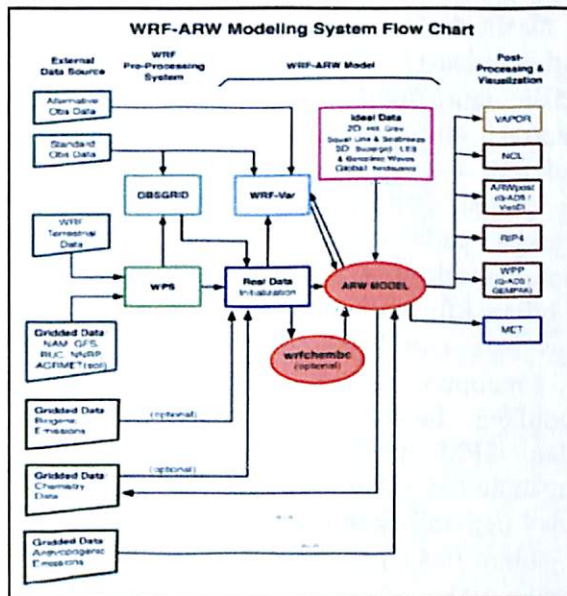
NO	Jenis Data	Sumber Data	Keperluan
1	Data pengukuran Global	BMKG	Verifikasi simulasi model WRF-CHEM
2	Forecast System	NCEP-NOAA	Database model WRF-CHEM
3	Emisi Lokal EDGAR	JRC - IES	Database model WRF-CHEM
4	Emisi Lokal	ITB	Database model WRF-CHEM
5	Landuse dan Topografi	USGS	Database model WRF-CHEM

Tiga parameter luaran akan dibandingkan dengan data pengukuran skala mingguan BMKG pada lima lokasi di Jakarta, yaitu; stasiun Ancol (106.836° BT dan -6.135° LS), stasiun Bandengan (106.786° BT dan -6.165° LS), stasiun Glodok (106.826° BT dan -6.155° LS), stasiun Kemayoran (106.866° BT dan -6.165° LS), dan stasiun Monas (106.826° BT dan -6.185° LS). Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif menggunakan korelasi dan bias.

Software aplikasi atau *tools* yang digunakan untuk menunjang penelitian ini adalah model kualitas udara WRF-CHEM yang digunakan untuk mensimulasi beberapa parameter kualitas udara dan GrADS (*Grid Analysis and Display System*) yang digunakan untuk analisis parameter kualitas udara luaran model. Pada WRF-CHEM terdapat penambahan modul kimiawi (*chemistry*) pada data input yang digunakan oleh WRF-CHEM.⁶ Data input tambahan ini disediakan oleh *WRF Preprocessing System* (WPS, bagian *dust erosion*) atau dalam proses *real.exe* (yaitu pembakaran biomassa, emisi biogenik, emisi *background* GOCART dan lain-lain) atau dalam proses eksekusi *wrf.exe* (yaitu emisi antropogenik, syarat batas, emisi vulkanik dan lain-lain).⁵

Metode

Pengolahan data yang dilakukan terbagi menjadi tiga tahap, yaitu; pengolahan data pengukuran kualitas udara dari BMKG, data emisi lokal wilayah Jakarta, *running* model dan analisis hasil serta verifikasi simulasi model (*post processing*).



Gambar 1. Alur sistem WRF-CHEM

Pengolahan Data Pengukuran Kualitas Udara BMKG Wilayah Jakarta

Tahapan pengolahan data kualitas udara wilayah Jakarta dilakukan dengan menginventarisasi data pengukuran skala mingguan BMKG. Data pengukuran yang digunakan adalah data sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), dan *Suspended Particulate Matter* (SPM). Data pengukuran tersebut digunakan sebagai data verifikasi luaran model. Data pengukuran skala mingguan milik BMKG terdapat pada 5 (lima lokasi), yaitu: Ancol, Bandengan, Glodok, Kemayoran, dan Monas. Lokasi stasiun pengukuran data kualitas udara milik BMKG ditunjukkan pada Gambar 2.

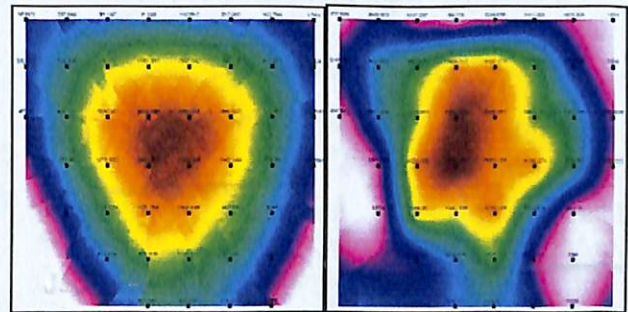


Gambar 2. Lokasi Pengukuran kualitas udara wilayah Jakarta

Pengolahan Data Emisi Lokal Wilayah Jakarta

Inventarisasi data emisi wilayah Jakarta didapatkan dari berbagai sumber emisi, di antaranya adalah; sektor industri, transportasi,

dan domestik (rumah tangga). Sumber data inventarisasi data emisi wilayah Jakarta tahun 2009 diperoleh dari beberapa instansi pemerintah seperti, BPH Migas, BPLHD, Jasa Marga, dan BPS. Data emisi wilayah Jakarta yang telah terkumpul dilakukan perubahan format menjadi data grid. Hal ini dilakukan karena masukan data emisi model WRF-CHEM menggunakan data format grid. Proses *re-gridding* emisi lokal dilakukan pada resolusi 5 km. Gambar 3 menunjukkan data emisi lokal NO_2 dan SO_2 dan dalam bentuk grid yang digunakan sebagai masukan data model WRF-CHEM.

Gambar 3. Data emisi lokal NO_2 (kiri) dan SO_2 (kanan) sebagai masukan data model WRF-CHEM

Penajaman resolusi model dilakukan hingga 5 km dengan interval waktu 1 jam. Parameterisasi skema fisik dan dinamik yang digunakan dalam *running* model WRF-CHEM adalah skema *Cumulus (Grell 3D)*, skema *Microphysic (Lin et al scheme)*, skema *Planetary Boundary Layer* menggunakan skema *Yonsei University (YSU)* dan skema *Surface Layer* menggunakan *Monin-Obukhov*. Sedangkan parameterisasi skema kimiawi menggunakan mekanisme fase kimiawi *RADM2 (Regional Acid Deposition Model, version 2)*. *Chemistry Option* menggunakan *Simple Aerosol Treatment, Emiss Option* menggunakan *Gocart Simple Emissions*. Pilihan kimiawi menggunakan profil kimiawi ideal, dan menggunakan pilihan emisi *EDGAR dust emissions*.

Verifikasi Model

Pendekatan secara kuantitatif dilakukan dengan membandingkan besaran nilai luaran model dengan menggunakan masukan data emisi lokal, emisi global, dan data pengukuran. Metode yang digunakan adalah pendekatan korelasidan bias. Untuk mencari nilai korelasi antara hasil model dan data observasi menggunakan persamaan $Kyun^8$, sedangkan mencari nilai bias menggunakan persamaan $De Foy^9$.

$$BIAS = \bar{F} - \bar{O} \quad (1)$$

$$Corr = \frac{\sum_{n=1}^N (F_n - \bar{F}) \times (O_n - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (F_n - \bar{F})^2 \times \sum_{n=1}^N (O_n - \bar{O})^2}} \quad (2)$$

Dimana F adalah hasil *forecast* (nilai prediksi model) dan O adalah hasil *observation* (nilai pengukuran). F_n dan O_n merupakan nilai ke i dari deret waktu data. Metode prakiraan dikatakan baik jika memiliki nilai korelasi yang tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Model Dengan Data Pengukuran BMKG

Data parameter kualitas udara yang dibandingkan adalah SO_2 , NO_2 , dan SPM. Interval waktu yang digunakan adalah skala mingguan pada lima lokasi di wilayah Jakarta. Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan beberapa profil parameter kualitas udara di lima lokasi wilayah Jakarta.

Pola NO_2 , SO_2 , dan SPM bulan Januari dan Juli hasil data pengukuran dengan model menggunakan data emisi lokal terlihat berfluktuasi, sedangkan data emisi global cenderung berpola datar. Berdasarkan akumulasi data rata-rata mingguan konsentrasi udara hasil pengukuran cenderung lebih tinggi dari hasil model pada beberapa lokasi (model *underestimate* terhadap pengukuran). Profil data mingguan luaran model dari data emisi lokal dan global mempunyai pola yang cukup mirip, data emisi lokal cenderung mempunyai nilai lebih tinggi dari emisi global. Nilai maks NO_2 , SO_2 dan SPM bulan Januari diperoleh dari data pengukuran di wilayah Glodok dengan nilai berturut-turut sebesar 0.047 ppm, 0.007 ppm, dan $253 \mu g/m^3$. Nilai rata-rata tertinggi NO_2 , SO_2 dan SPM periode Januari 2009 masih di bawah ambang batas baku mutu yang ditetapkan, dalam hal ini berdasarkan keputusan Gubernur DKI Jakarta.¹⁰

Nilai maks NO_2 dan SPM bulan Juli diperoleh dari data pengukuran di wilayah Glodok dengan nilai sebesar 0.087 ppm dan $397.45 \mu g/m^3$. Sedangkan nilai maks SO_2 terdapat di wilayah Bandengan dengan nilai 0.0097 ppm. Nilai rata-rata tertinggi NO_2 , SO_2 dan SPM periode Juli

2009 masih di bawah ambang batas baku mutu yang ditetapkan

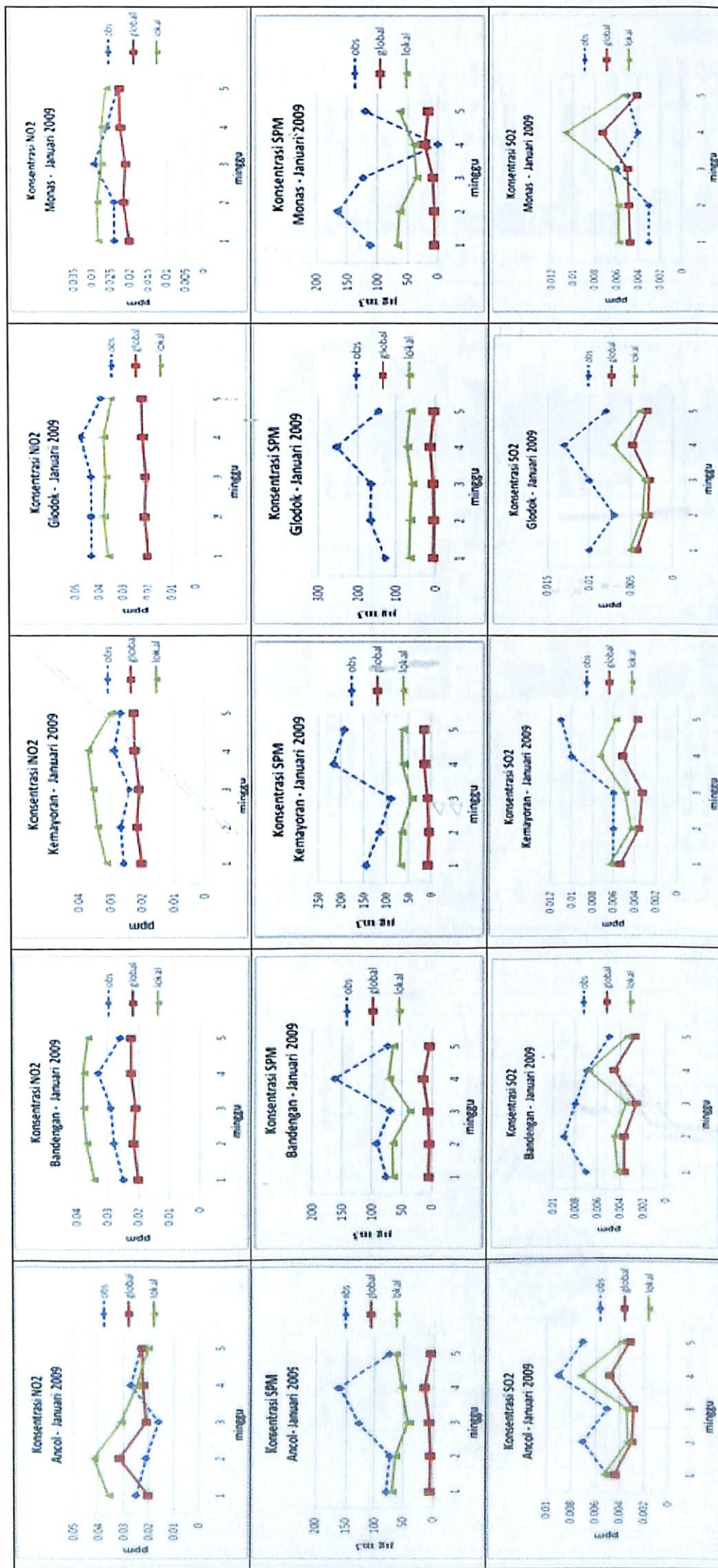
Hasil data rata-rata bulanan perbandingan konsentrasi NO_2 , SO_2 , dan SPM antara data pengukuran (*observasi*), data emisi lokal, dan emisi global periode Januari dan Juli 2009 ditunjukkan pada Gambar 5. Sebagian besar nilai konsentrasi rata-rata bulanan semua parameter pada bulan Juli lebih tinggi dibandingkan bulan Januari baik dari hasil pengukuran, data emisi lokal, maupun global. Secara umum dapat disimpulkan bahwa nilai konsentrasi, NO_2 , SO_2 dan SPM pada bulan Juli mengalami peningkatan dari bulan Januari.

Hasil perbandingan konsentrasi NO_2 , SO_2 dan SPM antara hasil pengukuran, data emisi lokal, dan emisi global ditunjukkan dengan perhitungan korelasi. Tabel 2 dan Tabel 3 adalah koefisien korelasi antara data pengukuran terhadap emisi lokal, dan emisi global bulan Januari dan Juli 2009.

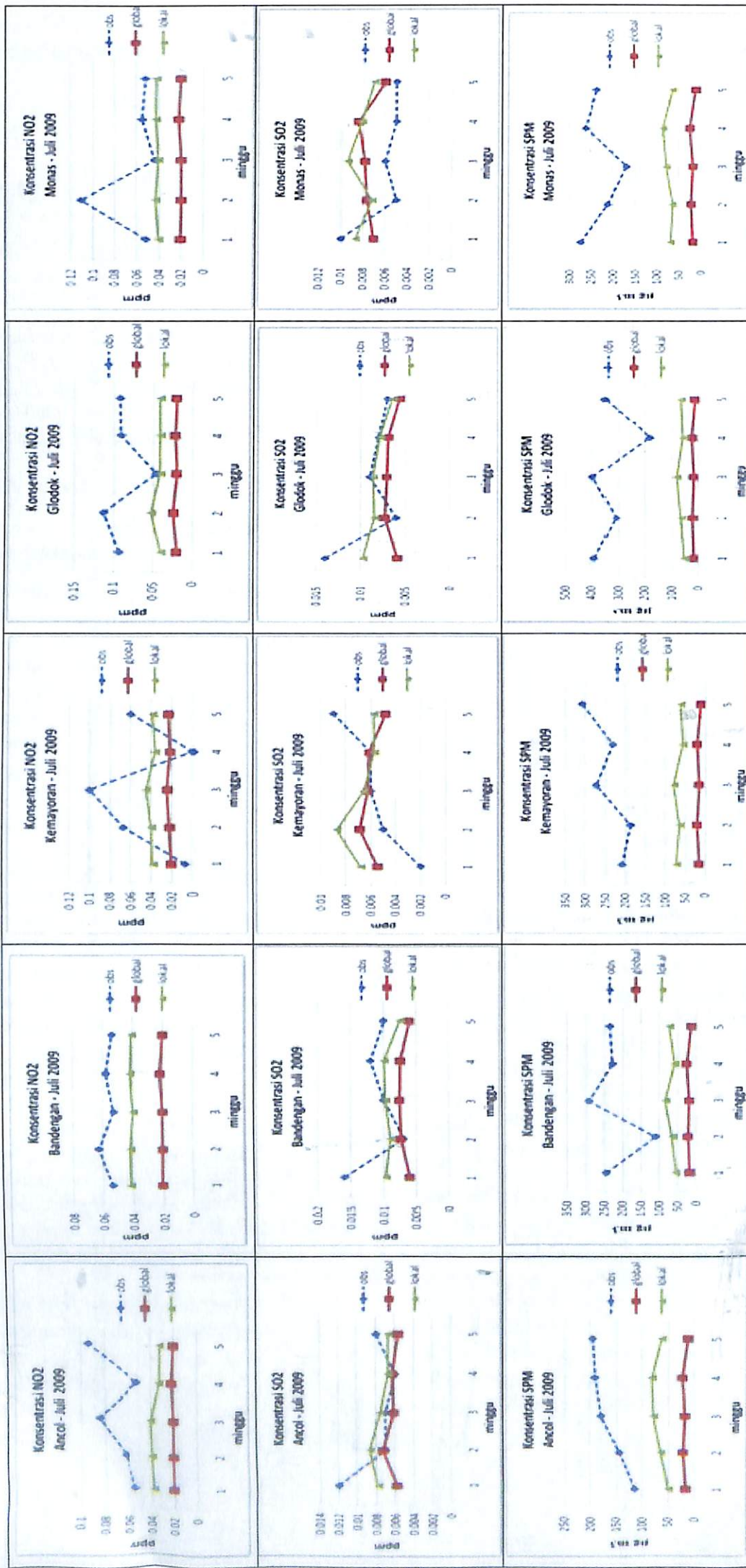
Secara umum pada beberapa lokasi korelasi data emisi lokal terhadap data pengukuran lebih tinggi dari data emisi global. Perhitungan menggunakan bias antara data hasil pengukuran terhadap hasil model dengan menggunakan masukan data emisi global dan lokal dilakukan dengan tujuan untuk melihat akurasi hasil model terhadap data pengukuran. Hasil perhitungan bias konsentrasi SO_2 , NO_2 , dan SPM bulan Januari dan Juli 2009 ditunjukkan pada Gambar 7.

Nilai bias didapatkan dengan cara mengurangkan nilai pengukuran dengan data data emisi global dan lokal hasil model. Nilai bias yang semakin besar mengindikasikan bahwa akurasi hasil model semakin kecil/rendah. Berdasarkan nilai bias seperti yang ditunjukkan Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai bias data emisi global dominan lebih tinggi dibandingkan data emisi lokal. Hal ini membuktikan bahwa hasil model WRF-CHEM dengan menggunakan data emisi lokal mempunyai *error* yang lebih kecil (akurasi lebih baik) dibandingkan dengan data emisi global.

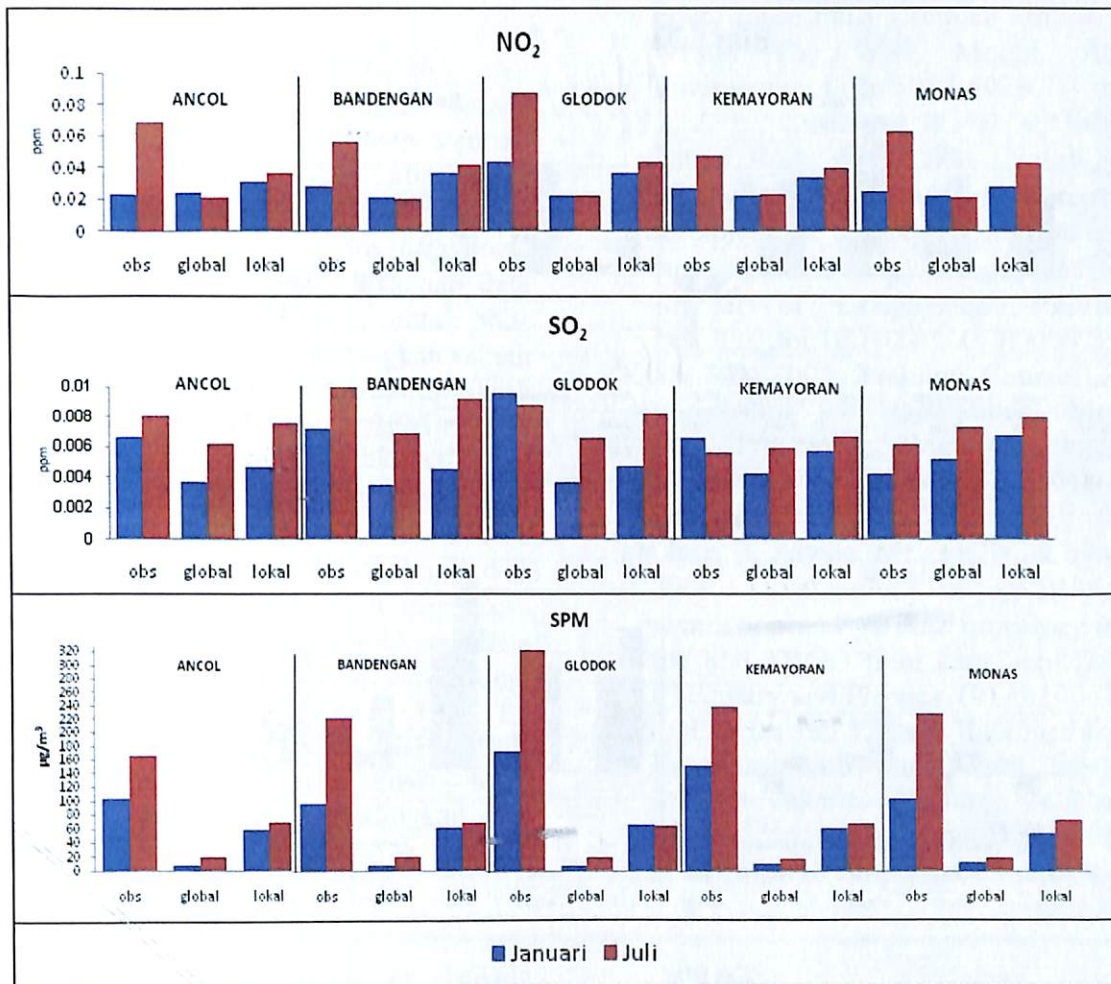
Hasil perbandingan menunjukkan bahwa nilai emisi model dominan lebih kecil (*underestimate*) terhadap nilai pengukuran. Hal ini diduga parameterisasi model yang digunakan belum sesuai dengan kondisi riil wilayah Jakarta. Perlu dilakukan *set-up* skema parameterisasi fisik yang sesuai sehingga mendapatkan akurasi nilai model yang lebih baik dan mendekati data pengukuran.



Gambar 4. Profil NO₂, SO₂ dan SPM luaran model (lokal dan global) dan data pengukuran bulan Januari tahun 2009 pada 5 lokasi wilayah Jakarta



Gambar 5. Profil NO₂, SO₂ dan SPM luaran model (lokal & global) dan data pengukuran bulan Juli tahun 2009 pada 5 lokasi wilayah Jakarta.



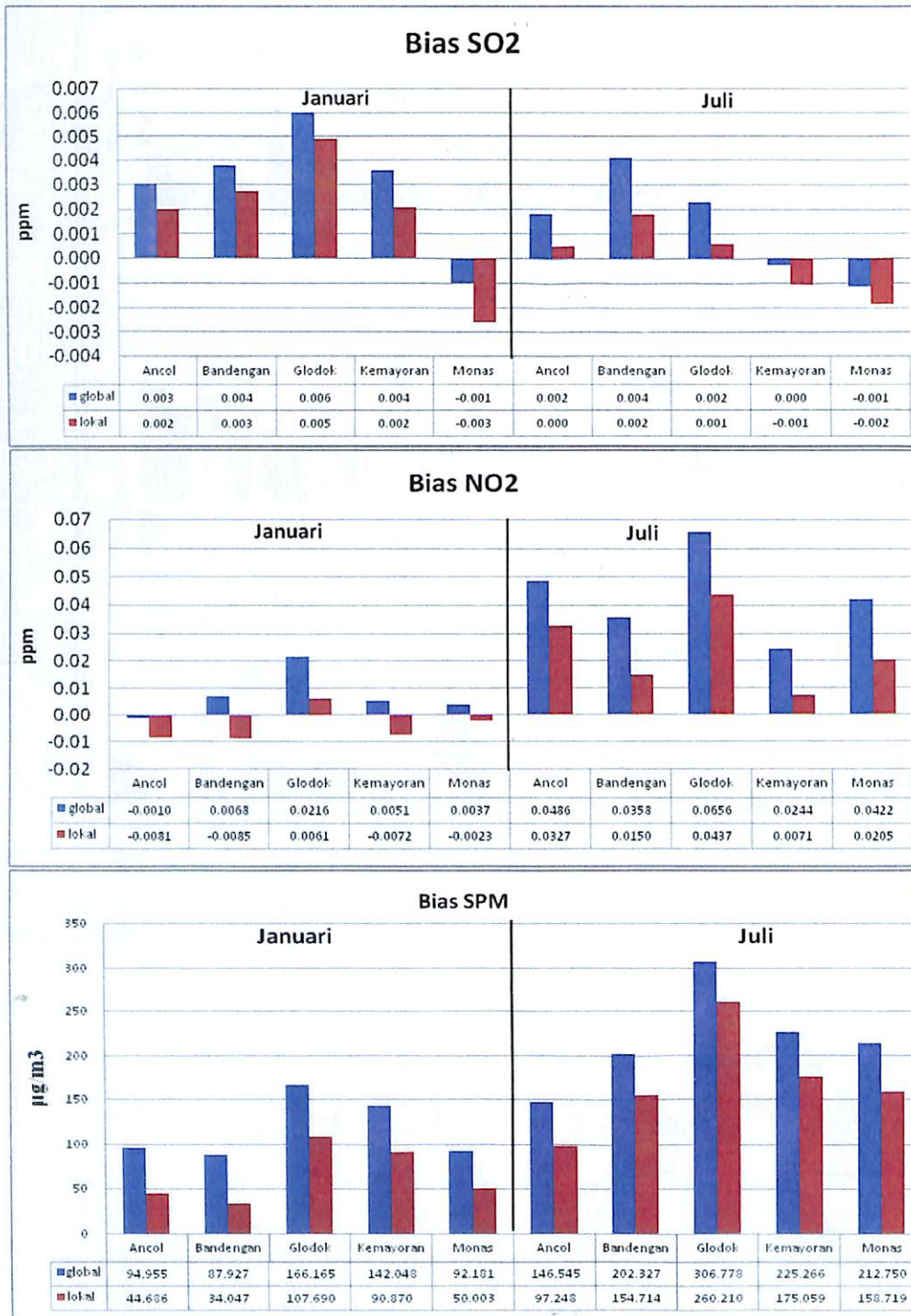
Gambar 6. Perbandingan rata-rata bulanan data pengukuran, emisi global, dan emisi lokal bulan Januari dan Juli 2009

Tabel 2. Koefisien Korelasi Emisi Global dan Lokal Terhadap Pengukuran Bulan Januari 2009

	SO ₂	Ancol	Bandengan	Glodok	Kemayoran	Monas
Emisi Global		0.40	0.19	0.78	0.13	-0.11
Emisi Lokal		0.57	0.14	0.84	0.55	-0.01
NO₂						
Emisi Global		-0.11	0.49	-0.06	0.66	-0.22
Emisi Lokal		-0.26	0.82	0.86	0.55	0.03
SPM						
Emisi Global		0.62	0.43	0.42	0.46	-0.84
Emisi Lokal		0.72	0.55	0.67	0.52	0.51

Tabel 3. Koefisien Korelasi Emisi Global dan Lokal Terhadap Pengukuran Bulan Juli 2009

	SO ₂	Ancol	Bandengan	Glodok	Kemayoran	Monas
Emisi Global		-0.41	-0.54	-0.43	-0.31	-0.15
Emisi Lokal		0.23	0.51	0.72	-0.42	0.49
NO₂						
Emisi Global		-0.60	0.16	0.66	0.86	-0.24
Emisi Lokal		-0.12	0.55	0.57	0.89	0.77
SPM						
Emisi Global		-0.09	-0.35	-0.71	-0.79	0.15
Emisi Lokal		0.74	0.35	0.40	0.04	-0.01



Gambar 7. Nilai bias antara data pengukuran terhadap data emisi global dan lokal bulan Januari dan Juli 2009 pada lima lokasi wilayah Jakarta

KESIMPULAN

Terjadi peningkatan konsentrasi SO₂, NO₂, dan SPM pada bulan Juli bila dibandingkan dengan Januari. Hal ini diduga pada bulan Januari sebagian aktivitas polutan dan konsentrasi terdesposisi oleh hujan.

Perbandingan konsentrasi antara data hasil model menggunakan emisi lokal terhadap data pengukuran mempunyai selisih nilai untuk NO₂ 12%, SO₂ 11%, dan SPM 62%, sedangkan selisih nilai emisi global terhadap pengukuran untuk NO₂ 46%, SO₂ 29% dan SPM 93%. Perbandingan konsentrasi tersebut menunjukkan hasil model *under estimate* terhadap hasil pengukuran.

Nilai emisi lokal dominan lebih tinggi dari global sehingga nilai emisi lokal lebih mendekati hasil pengukuran. Hasil bias menunjukkan bahwa data emisi global dominan lebih tinggi dibandingkan data emisi lokal. Hal ini membuktikan bahwa hasil model WRF-CHEM dengan menggunakan data emisi lokal mempunyai *error* lebih kecil dibandingkan data emisi global.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf bidang Klimatologi dan Kualitas Udara Pusat Penelitian dan Pengembangan – BMKG atas masukan dan saran selama penulisan KTI.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Republik Indonesia, 1999. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara Presiden Republik Indonesia Lembaran Negara RI No 41, Jakarta: Sekretariat Negara
- ²Wardhana, W.A., 1984. Teknik Analisis Radioaktifitas Lingkungan. Yogyakarta: Andi Offset
- ³Basuki.T.K. Setiawan, Budi. A., 2008. Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ Pada Emisi Gas Buang Dengan Menggunakan Arang Tempurung Kelapa Yang Disisipi TiO₂. Makalah dalam Seminar Nasional IV SDM Bilogi Nuklir. Yogyakarta.
- ⁴Sugiarti, 2009. Gas Pencemar Udara dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia. Jurnal Chemical periode Juni, Vol.10 No.1
- ⁵Peckam, S. E., Grell, G. A., McKeen, S. A., et.al., 2013. WRF-Chem Version 3.5. User's Guide
- ⁶Grell, G. A., S. E. Peckham, R. Schmitz, S. A. McKeen, G. Frost, W. C. Skamarock and B.

Eder, 2005. Fully Coupled Online Chemistry Within The WRF Model. Atmospheric Environment (39): 6957-6975.

- ⁷Fast, J. D., Gustafson Jr., W. I., Easter, R. C., Zaveri, R. A., et. al. 2006. Evolution of ozone, particulates, and aerosol direct radiative forcing in the vicinity of Houston using a fully coupled meteorology-chemistry-aerosol model. Journal of Geophysical Research, 111, D21305, doi:10.1029/2005JD006721.
- ⁸Kyun RD. 2002. Training Course On Weather Forecasting For Operational Meteorologist Post Processing. Meteorological Training Division, Korea Meteorological Administration 217-272.
- ⁹De Foy, B. Zavala, M., Bei, N. & Molina, L. T., 2009. Evaluation of WRF mesoscale simulation and particle trajectory analysis for the MILARGO field campaign. Atmospheric Chemistry and Physics. (9):4419 – 4438
- ¹⁰Propinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta, 2001. Keputusan Gubernur Propinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Tentang Penetapan Baku Mutu Udara Ambien dan Baku Mutu Tingkat Kebisingan di Propinsi DKI Jakarta. Jakarta.