

SIMULASI PENGARUH KEBAKARAN HUTAN TERHADAP KONSENTRASI PENCEMAR UDARA MENGGUNAKAN MODEL WRF-CHEM). STUDI KASUS SEPTEMBER 2015 DAN 2016 DI INDONESIA

Novita Ambarsari dan Prawira Yudha Kombara
Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN
novita.ambarsari@lapan.go.id

ABSTRACT. *In 2015 and 2016, particularly around September-October-November, there have been forest fires in and around Sumatra and Kalimantan. It is important to know the condition of air quality in the event of fire and prediction of future conditions and the direction of movement of pollutants that may be transported to other areas. This paper discusses the simulation of air pollutant conditions during forest fires on 28-29 September 2015 and 13-14 September 2016 in Indonesia using Weather Research and Forecast Chemistry (WRF-Chem) model. The model results show an increase in ozone concentration and CO reaches 0.046 ppmv and 0.145 ppmv in September 2015 in Kalimantan. The results of the model predictions contrary to satellites that show higher pollutant concentrations in September 2016 than September 2015. Particulate Matter (PM) concentrations for PM₁₀ and PM_{2.5} show high values in September 2015 and September 2016 reaching 170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ above Java, and a small portion in Sumatra and Kalimantan. The model's spatial PM pattern shows similarities to the UV aerosol index spatial pattern while the ozone and CO spatial patterns from model still show differences with the spatial patterns of the satellites.*

Keywords : forest fire, air pollution, WRF-Chem, Aqua satellite, AURA satellite.

ABSTRAK. Pada tahun 2015 dan 2016, khususnya sekitar bulan September-Oktober-November, telah terjadi kebakaran hutan di sekitar Sumatera dan Kalimantan. Penting untuk mengetahui kondisi kualitas udara saat terjadi kebakaran serta prediksi kondisi yang akan datang serta arah pergerakan polutan yang memungkinkan mengalami transport hingga ke daerah lain. Pada tulisan ini dibahas simulasi kondisi pencemar udara saat kebakaran hutan pada tanggal 28-29 September 2015 dan 13-14 September 2016 di Indonesia dengan menggunakan model Weather Research and Forecast Chemistry (WRF-Chem). Hasil model menunjukkan peningkatan konsentrasi ozon dan CO mencapai 0,046 ppmv dan 0,145 ppmv pada September 2015 di Kalimantan. Hasil prediksi model berlawanan dengan satelit yang menunjukkan konsentrasi pencemar lebih tinggi pada September 2016 dibandingkan September 2015. Konsentrasi Particulate Matter (PM) untuk PM₁₀ dan PM_{2.5} menunjukkan nilai yang tinggi pada September 2015 dan September 2016 mencapai 170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di atas Jawa, sebagian kecil di Sumatera dan Kalimantan. Pola spasial PM hasil model menunjukkan kemiripan dengan pola spasial UV aerosol index sedangkan pola spasial ozon dan CO hasil model masih menunjukkan perbedaan dengan pola spasial dari satelit.

Kata kunci : kebakaran hutan, polusi udara, WRF-Chem, satelit AQUA, satelit AURA.

1. PENDAHULUAN

Kebakaran hutan dan lahan melepaskan asap yang tersusun oleh berbagai jenis

senyawa kimia diantaranya Volatile Organic Compounds (VOCs), partikulat (PM), dan beberapa gas minor seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄) dan nitrogen oksida (NO_x). Secara global kebakaran hutan berkontribusi sekitar 50 % dari total emisi CO dan sekitar 15 % dari total emisi NO_x. Sebagian besar partikulat dan gas minor memiliki efek yang signifikan terhadap kesehatan manusia, iklim, dan kualitas udara. Saat gas-gas dan aerosol yang dihasilkan dari kebakaran hutan mengalami transport di atmosfer akan mengakibatkan penurunan kualitas udara dengan menurunkan visibilitas, mengakibatkan level PM yang tidak sehat, dan bereaksi untuk membentuk gas minor berbahaya di troposfer seperti ozon (Yi and Bao (2016).

Asia Tenggara adalah salah satu daerah sumber emisi pembakaran biomassa utama di dunia (Streets dkk., 2004; Fu dkk., 2011). Proses pembakaran biomassa dan bahan bakar fosil adalah sumber yang potensial terhadap Asian Brown Clouds (ABC) di Asia Selatan. Asap dari pembakaran biomassa umumnya menyebar mengikuti arah angin hingga ribuan kilometer jauhnya dan mempengaruhi kualitas udara, kesehatan manusia, dan iklim regional. Sampai saat ini, informasi tentang distribusi regional aerosol dan polutan udara dari pembakaran biomassa yang berasal dari Asia masih terbatas dan dampaknya terhadap kesetimbangan radiatif global belum dipahami dengan baik (Wang dkk., 2007; Fu dkk., 2011).

Indonesia merupakan negara yang menghasilkan emisi karbon yang tinggi hingga 20 kg C (karbon) per meter persegi dari pembakaran biomassa akibat kebakaran lahan gambut. Hal ini dikombinasikan juga dengan tingginya frekuensi kebakaran sehingga Indonesia menjadi wilayah dengan densitas emisi kebakaran yang tertinggi secara global. Aktivitas kebakaran juga dipengaruhi oleh El-Nino dan Indian Ocean Dipole (IOD) yaitu fenomena kopling atmosfer-laut seperti El-Nino tetapi terjadi di wilayah ekuatorial Samudera India (Aouizerats dkk., 2015). Proses transport atau perpindahan massa udara di atmosfer dapat mengakibatkan emisi dari kebakaran hutan bergerak hingga mengenai populasi di wilayah kebakaran dengan konsentrasi polutan sangat tinggi dan berbahaya. Beberapa kejadian kebakaran hutan di Indonesia yang tercatat sangat panjang (hingga beberapa bulan) terjadi di Kalimantan dan Sumatera tahun 1997-1998 akibat El-Nino yang menyebabkan bencana asap regional, juga kebakaran hutan yang lebih ringan di Sumatera tetapi menyebabkan penurunan kualitas udara di Singapura pada Juni 2013 (Heil and Goldammer, 2001; Mariler dkk., 2013; Marlier dkk., 2015).

Pulau Jawa dan kota-kota di Singapura yang berlokasi relatif dekat dengan kebakaran besar yang terutama terjadi di wilayah Sumatera dan Kalimantan mengalami peningkatan polusi yang sangat terkait dengan emisi dari kebakaran hutan, pertanian, dan lahan gambut. Model yang secara akurat dapat mensimulasikan asap dari kebakaran biomassa dan pengaruhnya terhadap kualitas udara di wilayah yang secara orografis dan meteorologis sangat kompleks menjadi kebutuhan untuk memahami lebih baik mengenai transport dan evolusi dari kepulan asap akibat kebakaran hutan (Aouizerats dkk., 2015)

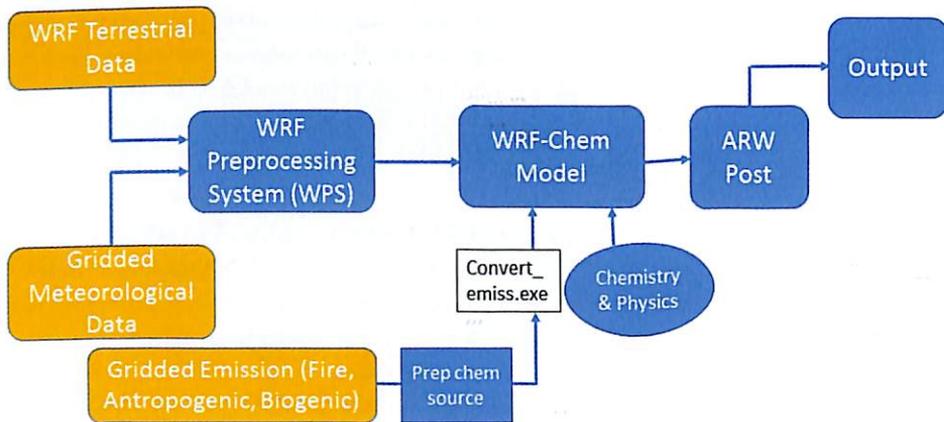
Weather Research and Forecast Chemistry (WRF-Chem) merupakan salah satu model kimia atmosfer atau model dispersi yang menjadi model generasi selanjutnya setelah model meteorologi WRF yang dikembangkan oleh beberapa instansi seperti NOAA/NCEP, NOAA/ESRL, dan NCAR. WRF-Chem mensimulasikan emisi, pencampuran turbulen, transport, transformasi, dan alur dari gas minor serta aerosol (Yeramili dkk., 2011).

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi pengaruh kebakaran hutan tanggal 28-29 September 2015 dan 13-14 September 2016 di Indonesia terhadap konsentrasi pencemar udara CO, ozon, PM₁₀, dan PM_{2,5} menggunakan model WRF-Chem.

2. METODE PENELITIAN

Weather Research Forecast Chemistry (WRF-Chem) adalah sistem pemodelan kualitas udara generasi baru yang dikembangkan di NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) yang digunakan untuk penelitian dan prediksi cuaca yang dikopling dengan proses kimia. WRF-Chem mensimulasikan emisi, transport, pencampuran, dan transformasi senyawa kimia bersamaan dengan meteorologi. WRF-Chem digunakan untuk investigasi kualitas udara regional. Model ini menggunakan mekanisme Eulerian, di mana variabel meteorologi dan kimia diprediksi pada semua titik grid pada setiap langkah waktu. Meskipun perhitungannya memakan waktu lama, model ini sangat sesuai untuk memprediksi kualitas udara yang memerlukan interaksi spesies kimia secara penuh dan terus menerus dengan parameter meteorologi. Sistem pemodelan ini memiliki dua modul untuk meteorologi dan kimia. Modul kimia menangani proses deposisi kering, ditambah dengan skema tanah/vegetasi, kimia fasa air digabungkan ke beberapa skema mikrofisika dan aerosol, emisi biogenik, emisi antropogenik, perhitungan reaksi kimia fase gas, skema fotolisis, dan skema aerosol dengan pilihan yang berbeda. Resolusi model WRF-Chem fleksibel, mulai dari beberapa kilometer sampai seratus kilometer. Sistem pemodelan ini sesuai dengan prediksi cuaca/model kualitas udara untuk mensimulasikan pelepasan dan pengangkutan polutan primer seperti partikel dan prediksi polutan sekunder seperti ozon (Yeramili dkk., 2011).

Diagram alir sistem kerja WRF-Chem ditampilkan pada Gambar 1. Data terrestrial dan data meteorologi akan dijalankan dalam sistem *WRF-Preprocessing* (WPS) untuk menyesuaikan serta menginterpolasikan data-data tersebut dengan domain wilayah serta waktu pada penelitian ini. Tahapan berikutnya adalah menjalankan software emisi *Prep_chem_source* untuk mengolah data emisi global yang diperlukan dalam domain dan waktu penelitian serta menghasilkan format data emisi intermediet (format data sementara) yang selanjutnya akan dikonversi dengan tools *convert_emiss.exe* menjadi format data akhir yang sesuai untuk dijalankan dalam model WRF-Chem (*wrf.exe*). Tahap terakhir adalah *postprocessing* yang dijalankan dalam sistem ARW-post untuk menghasilkan keluaran hasil model dalam format netCDF yang dapat divisualisasikan menggunakan software umum seperti GrADS (Peckham dkk., 2011).



Gambar 1. Diagram Alir Model WRF-Chem (Peckham dkk., 2011)

2.1 Data input WRF-Chem

Data yang digunakan sebagai input untuk menjalankan model WRF-Chem terdiri dari data meteorologi global dari *Global Forecast System* (GFS) yang bersumber dari NCEP/NCAR dengan resolusi 0,5 derajat. Untuk menjalankan prediksi atau simulasi parameter kimia diperlukan data emisi global yang meliputi data emisi antropogenik, biogenik, dan pembakaran biomassa serta data densitas karbon yang telah disediakan oleh NOAA. Untuk keperluan simulasi atau prediksi konsentrasi pencemar udara dari kebakaran hutan diperlukan data emisi kebakaran hutan global yang pada penelitian ini menggunakan data emisi kebakaran hutan dari *Global Fire Emission Database* versi 2 (GFED v2). Rincian data yang digunakan untuk menjalankan model WRF-Chem pada penelitian ini ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Data yang digunakan untuk Prediksi Komposisi Atmosfer dengan Model WRF-Chem

No	Data	Sumber Data	Tahun	Resolusi
1	GFS	NCEP/NCAR	Realtime	0,5 °
2	Emisi global versi 3	NOAA	2015	
	Emisi antropogenik EDGAR		2000 (2005)	Annual, 1°
	Emisi antropogenik RETRO		2000	Monthly, 0,5 °
	Emisi antropogenik GOCART		2006	Annual, 1°
	Emisi biogenik GEIA		2002	Monthly, 1°
	Emisi pembakaran biomassa Yevich Logan		2005	1°
	Densitas karbon Olson		2000	0,5 °
3	Emisi dari kebakaran hutan			
	GFEDv2_8days	NOAA	2005	1°

2.2 Konfigurasi WRF-Chem untuk kasus kebakaran hutan

WRF-Chem dijalankan untuk prediksi selama 24 jam yang akan datang dengan resolusi spasial 15 km dan resolusi temporal 1 jam dengan domain wilayah Indonesia (90 BT – 150 °BT, 15 °LS – 15 °LU). Pemilihan waktu simulasi adalah pada tanggal 13 September 2016 dan 28 September 2015 untuk mewakili kejadian kebakaran hutan yang ditandai dengan jumlah *hotspot* sangat tinggi di Indonesia (Gambar 2). Simulasi WRF-Chem untuk kejadian kebakaran hutan dapat dijalankan dengan mengaktifkan pilihan *fire* pada software emisi serta pilihan biomass burning saat menjalankan *wrf.exe* (Peckham dkk., 2011). Adapun skema untuk WRF-Chem yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Skema Parameterisasi yang Digunakan untuk Prediksi Komposisi Atmosfer Menggunakan Model WRF-Chem

Skema parameterisasi kimia (chem_opt)	Skenario
Chemical driver /gas phase	RADM2 (Regional Acid Deposition Model versi 2)
Aerosol driver	Gocart simple aerosol treatment
Photolysis	Madronich Photolysis
Cumulus	New Grell scheme
Skema parameterisasi fisika	
Mycrophysics	Lin
Long wave radiation	RRTMG (new Rapid Radiative Transfer Model)
Short wave radiation	RRTMG
Surface layer	Revised MM5 Monin-Obhukov
Land surface model	Noah LSM
Boundary layer	YSU scheme

Verifikasi awal hasil simulasi WRF-Chem saat kejadian kebakaran hutan untuk parameter CO dan ozon dilakukan dengan membandingkan variasi spasial CO dan ozon dengan hasil observasi satelit AQUA/AIRS pada tekanan 850 hPa, sedangkan verifikasi hasil simulasi WRF-Chem untuk parameter PM₁₀ dan PM_{2,5} dilakukan dengan membandingkan dengan variasi spasial nilai *UV aerosol index* yang dapat mewakili konsentrasi PM di suatu wilayah dari hasil observasi satelit AURA/OMI. Parameter kimia lainnya seperti NO₂ dan SO₂ tidak ditampilkan pada penelitian ini karena tidak representatifnya data satelit untuk verifikasi. Hasil observasi satelit (AQUA/AIRS dan AURA/OMI) menyediakan sumber data yang bermanfaat untuk melakukan evaluasi dari hasil simulasi dengan model WRF-Chem (Crippa dkk., 2016)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi saat terjadi kebakaran hutan menggunakan model WRF-Chem dengan input data emisi kebakaran hutan dari *Global Fire Emission Data Base* (GFED) dilakukan pada tanggal 13-14 September 2016 saat jumlah *hotspot* di Indonesia mencapai 195 titik

dan pada tanggal 28-29 September 2015 saat jumlah *hotspot* mencapai 970 titik dengan confidence level >80 % sesuai hasil observasi satelit MODIS yang ditampilkan pada website monitoring *hotspot* milik LAPAN (Gambar 2).



Gambar 2. Distribusi dan jumlah *hotspot* pada tanggal 28-29 September 2015 (kiri) dan 13-14 September 2016 (kanan) di Indonesia hasil observasi satelit MODIS AQUA/TERRA yang diperoleh dari website LAPAN (<http://modis-catalog.lapan.go.id/monitoring/hotspot/index>).

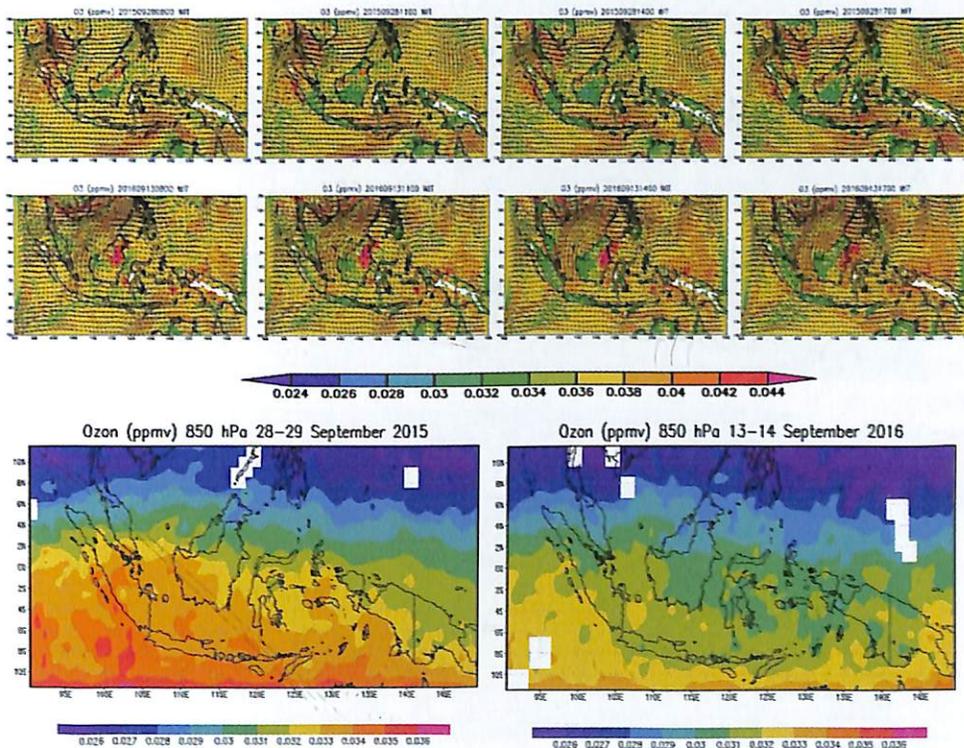
Pola spasial ozon dan CO dari keluaran WRF-Chem dibandingkan dengan pola spasial ozon dan CO pada 850 hPa hasil observasi sensor AIRS satelit AQUA (Gambar 3 dan 4). Ketinggian 850 hPa digunakan karena pada ketinggian tersebut sudah di atas planetary boundary layer sehingga pengaruh dari permukaan Bumi yang dapat menyebabkan gangguan pada pengukuran satelit menjadi lebih kecil.

Ozon dan CO dari keluaran WRF-Chem yang ditampilkan pada penelitian ini dipilih pada pukul 08:00 WIB, 11:00 WIB, 14:00 WIB, dan 17:00 WIB yang dioverlay dengan angin untuk dapat melihat perubahan konsentrasi juga pergerakan dari waktu ke waktu, serta untuk mendekati waktu lintasan satelit AQUA di Indonesia yaitu pada pukul 10.30 dan 13.30 waktu lokal. Data ozon dan CO dari satelit AQUA/AIRS diambil pada saat pengukuran siang hari (*daytime*) yang dirata-ratakan pada tanggal 28-29 September 2015 dan 13-14 September 2016 untuk memperoleh sapuan data yang lebih rapat.

Pada variasi spasial ozon hasil keluaran WRF-Chem untuk tanggal 28 September 2015 (Gambar 3), tampak adanya konsentrasi ozon yang tinggi di sebelah barat Pulau Sumatera dan wilayah Kalimantan bagian Utara dengan konsentrasi mencapai 0,046 ppmv tetapi dengan area yang sangat kecil. Pada tanggal 13 September 2016 tampak hasil simulasi menunjukkan konsentrasi ozon mencapai maksimum 0,046 ppmv untuk area yang lebih besar dan menyebar dari waktu ke waktu di sekitar Kalimantan bagian utara. Dari hasil simulasi terlihat proses produksi ozon dari emisi prekursor yang dihasilkan dari kebakaran hutan lebih dominan terjadi pada tanggal 13 September 2016. Konsentrasi ozon tinggi tersebut dapat menjadi indikator adanya pengaruh dari emisi kebakaran hutan yang kemungkinan mengalami transport prekursor ozon seperti CO oleh angin sehingga pembentukan ozon akibat emisi prekursor dari kebakaran hutan terjadi dalam radius tertentu dari sumber kebakaran.

Variasi spasial ozon dari satelit AQUA/AIRS lebih dominan tinggi di wilayah

Indonesia bagian Selatan. Konsentrasi ozon keluaran WRF-Chem tanggal 28 September 2015 dan 13 September 2016 antara 0,02 hingga 0,046 ppmv sedangkan konsentrasi ozon dari satelit AQUA/AIRS sekitar 0,025 hingga 0,037 ppmv untuk tanggal 28 September 2015 dan hanya sekitar 0,025 hingga 0,035 ppmv untuk tanggal 13 September 2016. Dari hasil tersebut diketahui bahwa nilai konsentrasi ozon hasil simulasi WRF-Chem masih berbeda dari nilai konsentrasi ozon hasil observasi satelit dengan perbedaan sekitar 0,005 – 0,011 ppmv.

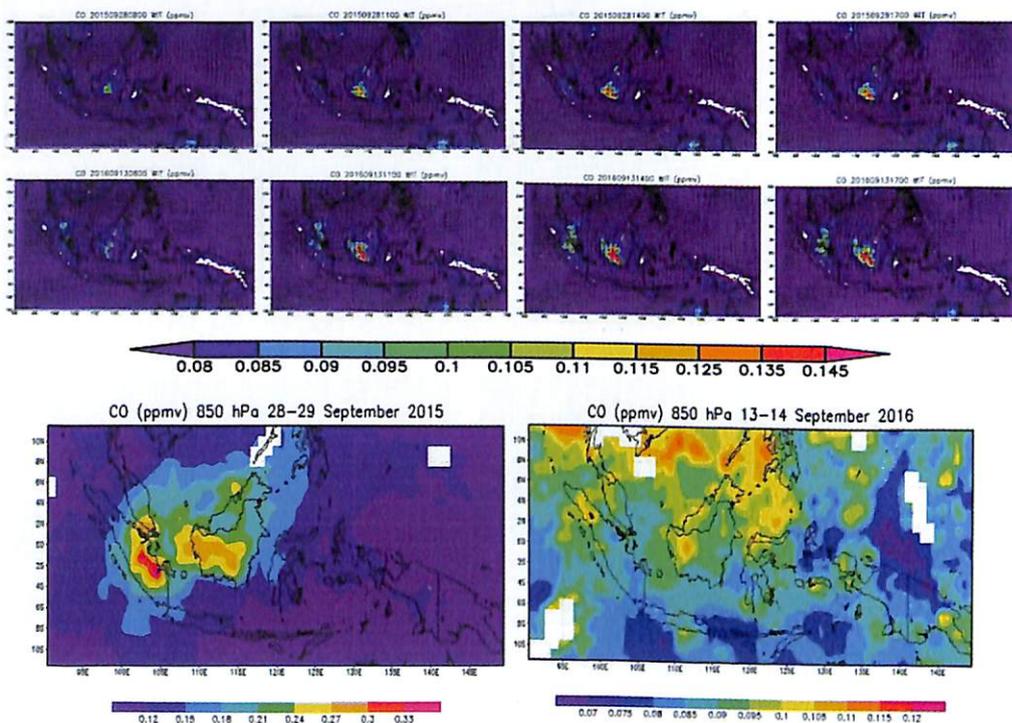


Gambar 3. Perbandingan pola spasial ozon (ppbv) dari keluaran WRF-Chem yang dioverlay dengan angin tanggal 28 September 2015 dan 13 September 2016 pada pukul 08:00 WIB, 11:00 WIB, 14:00 WIB, dan 17:00 WIB serta rata-rata ozon pada 850 hPa (ppmv) tanggal 28-29 September 2015 dan 13-14 September 2016 saat siang hari (daytime) dari satelit AQUA/AIRS

Variasi spasial CO keluaran WRF-Chem yang dibandingkan dengan variasi spasial CO dari hasil observasi satelit AQUA/AIRS pada tanggal 28-29 September 2015 dan 13-14 September 2016 ditampilkan pada Gambar 4. Perubahan konsentrasi CO yang meningkat dari waktu ke waktu dan transpor CO sesuai arah angin yang menuju ke barat laut juga tampak pada gambar 4. Variasi spasial konsentrasi CO hasil WRF-Chem (Gambar 4) untuk tanggal 28 September 2015 menunjukkan nilai yang lebih tinggi di sekitar Pulau Kalimantan bagian selatan mencapai 0,145 ppmv dan Pulau Sumatera khususnya di sekitar Pekanbaru, Riau mencapai 0,09 ppmv yang menunjukkan indikasi

adanya emisi CO dari kebakaran hutan. Pada tanggal 13 September 2016 konsentrasi CO mencapai 0,15 ppmv meliputi area yang lebih luas mengindikasikan kejadian kebakaran hutan yang lebih besar pada 13 September 2016. Hal ini tidak sesuai dengan jumlah *hotspot* yang jauh lebih tinggi pada 28-29 September 2015 (Gambar 2).

Ketidaksesuaian variasi spasial CO hasil WRF-Chem juga terlihat jelas saat dibandingkan dengan variasi spasial CO dari observasi satelit AQUA/AIRS (Gambar 4). Variasi CO dari satelit untuk tanggal 28 September 2015 menunjukkan konsentrasi CO lebih tinggi di Pulau Sumatera bagian selatan mencapai 0,36 ppmv dan di Kalimantan bagian selatan dan barat dengan konsentrasi sekitar 0,3 ppmv.



Gambar 4. Perbandingan pola spasial CO (ppmv) dari keluaran WRF-Chem tanggal 28 September 2015 dan 13 September 2016 pukul 08:00 WIB, 11:00 WIB, 14:00 WIB, dan 17:00 WIB yang dioverlay dengan angin serta CO pada 850 hPa (ppmv) saat siang hari (daytime) dari satelit AQUA/AIRS

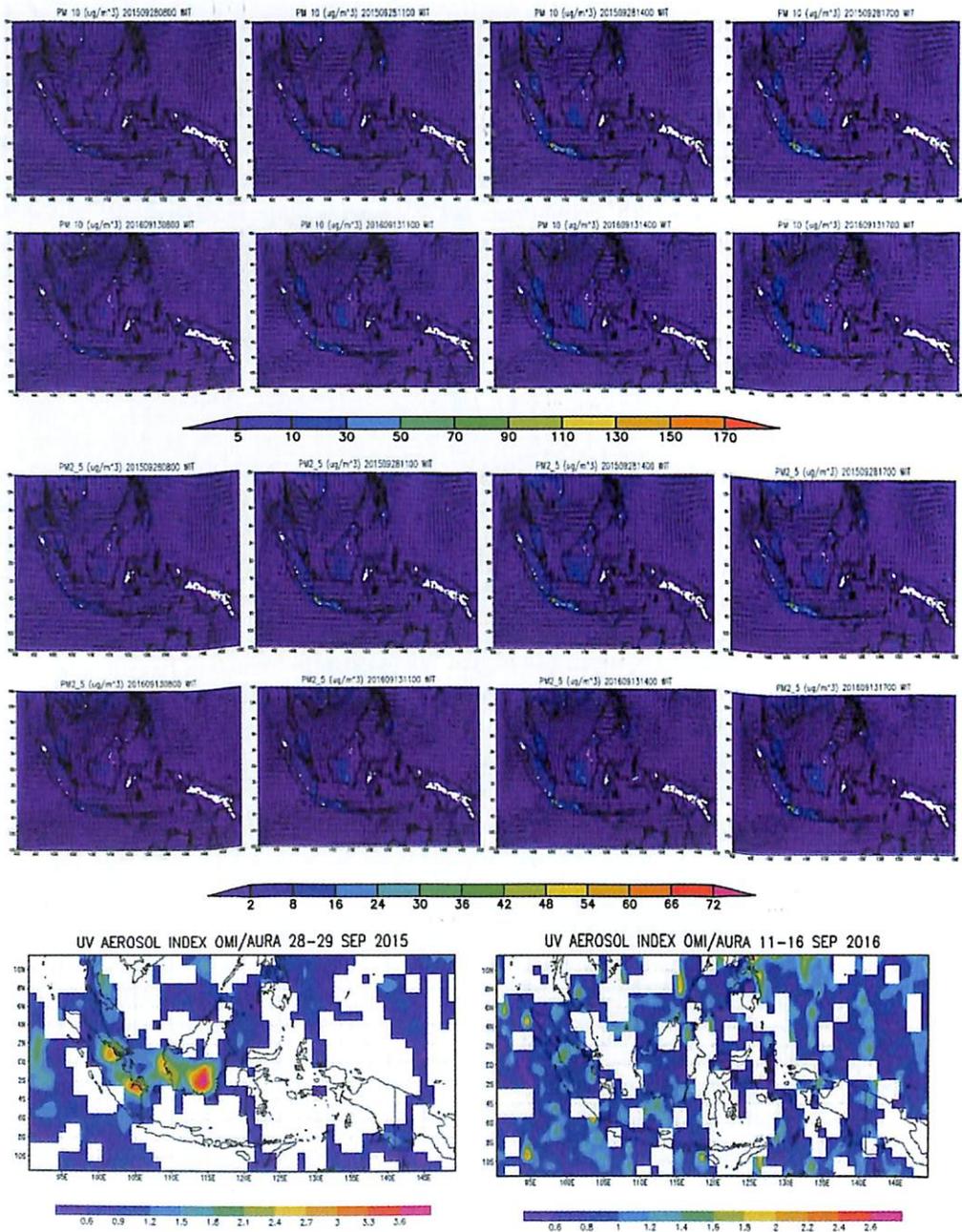
Bila dibandingkan dengan variasi spasial CO tanggal 28-29 September 2015, konsentrasi CO saat 13-14 September 2016 jauh lebih kecil hanya sekitar 0,07 ppmv dan maksimum hanya 0,12 ppmv di atas Kalimantan dan Sumatera. Hasil pengukuran satelit ini dapat mengindikasikan bahwa konsentrasi CO saat kebakaran 28-29 September 2015 jauh lebih tinggi dibandingkan saat 13-14 September 2016. Hal ini berlawanan dengan hasil simulasi WRF-Chem. Selain itu, pola spasial CO keluaran WRF-Chem masih menunjukkan perbedaan lokasi dan sebaran konsentrasi CO yang menunjukkan

konsentrasi tinggi dominan di Kalimantan Selatan dibandingkan hasil observasi satelit yang menunjukkan konsentrasi sangat tinggi dominan di atas Sumatera. Konsentrasi CO hasil WRF-Chem tanggal 28 September 2015 dan 13 September 2016 bernilai sekitar 0,075 hingga 0,150 ppmv sedangkan dari hasil pengukuran satelit diperoleh konsentrasi CO sekitar 0,09 hingga 0,36 ppmv untuk tanggal 28-29 September 2015 dan sekitar 0,07 hingga 0,12 ppmv untuk tanggal 13-14 September 2016. Hasil simulasi WRF-Chem untuk parameter CO tanggal 28 September 2015 menunjukkan model masih *underestimate* dibandingkan hasil pengukuran satelit dengan perbedaan nilai sekitar 0,025 – 0.19 ppmv.

Selain parameter CO dan ozon, dibandingkan juga hasil keluaran WRF-Chem untuk parameter partikulat ($PM_{2,5}$ dan PM_{10}) yang dioverlay dengan angin dengan nilai *UV aerosol index*, yang sangat berkaitan erat dengan kondisi partikulat di suatu wilayah, dari satelit OMI/AURA pada tanggal 28-29 September 2015 yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Variasi spasial PM_{10} dan $PM_{2,5}$ hasil WRF-Chem tanggal 28 September 2015 dan 13 September 2016 menunjukkan adanya konsentrasi yang sangat tinggi di atas Pulau Jawa terutama Jakarta mencapai $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} dan $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $PM_{2,5}$ dan sebagian kecil di atas Pulau Sumatera, serta tampak adanya konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang tinggi juga di atas Kalimantan bagian selatan. Tidak ada perbedaan yang signifikan dari variasi spasial konsentrasi PM hasil simulasi WRF-Chem pada kedua waktu tersebut. Akan tetapi, variasi spasial *UV aerosol index* tanggal 28-29 September 2015 menunjukkan nilai sangat tinggi mencapai 3,9 di wilayah Kalimantan bagian selatan dan di Sumatera bagian selatan serta Riau sebagai indikator tingginya konsentrasi aerosol yang mengandung PM, sedangkan pada 11-16 September 2016 variasi spasial *UV aerosol index* tidak menunjukkan adanya konsentrasi aerosol yang tinggi di Indonesia. Terdapat kemiripan pola spasial untuk konsentrasi aerosol yang tinggi di Indonesia. Terdapat kemiripan pola spasial untuk parameter PM_{10} dan $PM_{2,5}$ keluaran WRF-Chem jika dibandingkan dengan pola spasial *UV aerosol index* dari OMI/AURA. Akan tetapi hasil WRF-Chem tidak menunjukkan konsentrasi PM pada 28 September 2015 yang berbeda signifikan sebagai akibat dari kebakaran hutan yang lebih besar yang terlihat dari nilai *UV aerosol index* hasil pengukuran satelit.

Parameter pencemar udara yang terlihat dipengaruhi oleh emisi dari kebakaran hutan yaitu CO, ozon, PM_{10} , dan $PM_{2,5}$ yang tampak dari adanya peningkatan konsentrasi senyawa-senyawa tersebut di lokasi-lokasi dimana emisi kebakaran hutan meningkat. Hasil prediksi WRF-Chem menunjukkan adanya daerah-daerah dengan konsentrasi CO, PM_{10} , dan $PM_{2,5}$ yang sangat tinggi di daerah Sumatera dan Kalimantan Selatan dibandingkan dengan wilayah-wilayah lainnya. Hal ini disebabkan data emisi kebakaran hutan telah diinputkan di dalam prediksi WRF-Chem untuk memprediksi kondisi saat terjadi kebakaran hutan. Tingginya konsentrasi senyawa-senyawa tersebut menunjukkan efek emisi kebakaran hutan terhadap perubahan konsentrasi pencemar udara.



Gambar 5. Perbandingan pola spasial PM₁₀ dan PM_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dari keluaran WRF-Chem tanggal 28 September 2015 dan 13 September 2016 pukul 08:00 WIB, 11:00 WIB, 14:00 WIB, dan 17:00 WIB yang dioverlay dengan angin serta rata-rata UV aerosol index tanggal 28-29 September 2015 dari OMI/AURA

Dari hasil ini juga diketahui bahwa WRF-Chem dapat dijalankan untuk kasus kebakaran menggunakan input data emisi kebakaran dari GFEDv2_2005, akan tetapi bila dibandingkan dengan distribusi *hotspot* hasil observasi satelit MODIS pada website katalog MODIS milik LAPAN (Gambar 2) terlihat masih ada perbedaan antara lokasi *hotspot* dengan lokasi dimana konsentrasi pencemar lebih tinggi dari hasil prediksi WRF-Chem. *Hotspot* terdistribusi dominan di wilayah Kalimantan Barat yang dapat dijadikan sebagai dasar dari lokasi yang mengalami kebakaran hutan. Akan tetapi hasil prediksi WRF-Chem untuk CO dan partikulat menunjukkan wilayah Kalimantan Selatan adalah wilayah dengan konsentrasi pencemar yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan prediksi untuk kasus kebakaran yang dijalankan dengan WRF-Chem saat ini belum mampu untuk menginputkan data lokasi *fire* atau *hotspot* dari hasil observasi satelit dan data emisi kebakaran yang *realtime* dan hanya mendasarkan pada data emisi kebakaran dari GFEDv2_2005.

4. KESIMPULAN

Simulasi pengaruh kebakaran hutan menggunakan WRF-Chem dengan input data emisi kebakaran dari GFEDv2_2005 untuk tanggal 28 September 2015 dan 13 September 2016 telah dilakukan. Akan tetapi masih terdapat perbedaan pola spasial antara hasil simulasi model dengan hasil pengukuran satelit untuk parameter CO dan ozon. Selain itu masih adanya ketidaksesuaian antara data *hotspot* yang menunjukkan intensitas kebakaran lebih tinggi pada 28 September 2015 dibandingkan dengan pada 13 September 2016, sedangkan hasil model menunjukkan hal yang berlawanan. Hasil penelitian ini juga menunjukkan kinerja model yang masih *underestimate* dibandingkan dengan hasil pengukuran satelit. Konsentrasi ozon dan CO hasil simulasi WRF-Chem masih berbeda dari nilai konsentrasi ozon dan CO hasil observasi satelit dengan perbedaan sekitar 0,005 – 0,011 ppmv ozon dan 0,025 – 0.19 ppmv CO. Perbedaan hasil prediksi model dan hasil observasi satelit ini diperkirakan terjadi karena model WRF-Chem menggunakan input data emisi antropogenik dan emisi kebakaran global yang belum *realtime* sehingga tidak dapat menggambarkan kondisi terkini sesuai pengamatan satelit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan tim Pengembangan *Decision Support System* (DSS) Sistem Informasi Komposisi Atmosfer Indonesia (SRIKANDI) Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer (PSTA)-LAPAN.

DAFTAR RUJUKAN

- Aouizerats B, dkk. (2015). Importance of Transboundary Transport of Biomass Burning Emission to Regional Air Quality in South East Asia during a High *Fire* Event. *Atmos. Chem. Phys.* 15, 363-373.
- Crippa, P., Sullivan, R. C., Thota, A. and Pryor, S. C. (2016). Evaluating the skill of high resolution WRF-Chem simulations in describing drivers of aerosol direct climate forcing on the regional

- scale. *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 397-416.
- Fu, J. S., Hsu, N. C., Huang, K., Li, C., Lin, N. H. and Tsay, S. C. (2011). A regional chemical transport modelling to identify the influence of biomass burning during 2006 BASE-ASIA. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 11, 3071-3115.
- Heil, A. and Goldamet, J. G. (2001). Smoke-haze pollution). a review of the 1997 episode in Southeast Asia. *Reg Environ. Change* 2, 24-37.
- Lima, S. R., Alonso, M., Bela, M., Oliveira, V., Fonseca, R., Gacita, M., Pereira, G., Longo, K. M., Freitas, S. R. and Grell, G. (2012) Generating Emission Fields for WRF-Chem using Prep-Chem-Sources. WRF-Chem Tutorial.
- Marlier, M. E., DeFries, R., Voulgarakis, A., Kinney, P. L., Randerson, J. T., Shindell, D. T., Chen, Y. and Falugevi, G. (2013). El Nino and health risks from landscape *fire* emissions in southeast Asia. *Nat. Clim. Change*. 3. 131-6.
- Marlier, M. E., DeFries, R. S., Kim, P. S., Gaveuau, D. L. A., Koplitz, S. N., Jacob, D. J., Mickley, L. J., Margono, B. A. and Myers, S. S. (2015). Regional air quality impacts of future *fire* emissions in Sumatera and Kalimantan. *Environ. Res. Lett.* 10 (2015)054010. Doi:10.1088/1748-9326/10/5/054010.
- Peckham, S. E., Grell, G. A., Mckeen, S. A., Ahmadov, R., Marrapu, P., Fast, J., Gustafson, W. I., Ghan, S. J., Zaveri, R., Easter, R. C., Barnard, J., Chapman, E., Schmitz, R., Salzman, M., Beck, V., Freitas, S. R., Hewson, M., Barth, M., Pfiser, G., Wiedinmeyer, C. (2011). WRF-Chem Version 3.7 User's Guide. NOAA. https://ruc.noaa.gov/wrf/wrf-chem/Users_guide.pdf
- Streets, D. G., Fu, J. S., Jang, C., Hao, J., He, K., Tang, X., Zhang, Y., Li, Z., Zhang, Q., Wang, L., Wang, B., and Yu, C. (2004). Air quality during the 2008 Beijing Olympic games. *Atmos. Environ.*, 41(3), 480-492.
- Wang, S. H., Lin, N. H., Chou, M. D., and Woo, J. H. (2007). Estimate of *radiative forcing* of Asian biomass burning aerosols during the period of TRACE-P. *J. Geophys. Res.*, 112(D10), D10222, doi:10.1029/2006JD007564.
- Yerramilli A., Dodla V. B. R., Yerramilli S. (2011). *Air pollution Modelling and GIS based Decision Support Systems for Air Quality Risk Assessment*, Intech. DOI. 10.5772/2205. <http://www.intechopen.com/books/advanced-air-pollution/air-pollution-modeling-and-gis-based-decision-support-systems-for-air-quality-risk-assessment>
- Yi K. and Bao Y (2016). Estimates of *Wildfire* Emissions in Boreal Forests of China. *Journal Forests* 2016, 7, 158; doi:10.3390/f7080158.