

PREDIKSI SEBARAN ASAP KEBAKARAN HUTAN/LAHAN MENGUNAKAN WRF/CHEM (Studi Kasus: Tanggal 14 dan 20 Juni 2012, Pekanbaru-Riau)

PREDICTION OF FOREST/LAND FIRE SMOKE DISTRIBUTION USING WRF/CHEM
(Case Study: 14 and 20 June 2012, Pekanbaru-Riau)

Eko Heriyanto*, Danang Eko Nuryanto
Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, Jakarta
*E-mail: e.heriyanto@gmail.com

Naskah masuk: 20 September 2013; Naskah diperbaiki: 14 Februari 2014; Naskah diterima: 10 September 2014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan prediksi sebaran asap kebakaran hutan/lahan di wilayah Indonesia. Simulasi prediksi sebaran asap (*hindcast*) menggunakan model *Weather Research and Forecasting with Chemistry* (WRF/CHEM) pada kasus kebakaran hutan/lahan tanggal 14 dan 20 Juni 2012 di wilayah Pekanbaru-Riau. Dalam penelitian ini digunakan data luaran WRF resolusi 25 km dan emisi global. Hasil simulasi konsentrasi *Carbon Monoxide* (CO) luaran WRF/CHEM menggambarkan pola yang identik dengan hasil luaran *Monitoring Atmospheric Composition and Climate* (MACC-Reanalysis 1.1⁰). Dilakukan juga analisis kualitatif terhadap hasil simulasi kedua model dengan citra satelit Aqua-Terra MODIS, NOAA-18, dan *total column CO Atmospheric Infrared Sounder* (AIRS) dari NASA. Korelasi simulasi kedua model menunjukkan nilai yang baik antara 0.55 – 0.83. Secara umum dapat disimpulkan bahwa WRF/CHEM mampu mensimulasikan sebaran asap kebakaran hutan/lahan secara akurat. Hasil penelitian ini bisa menjadi salah satu langkah awal dalam pengembangan sistem peringatan dini sebaran asap kebakaran hutan/lahan di wilayah Indonesia.

Kata kunci: WRF/CHEM, MACC-Reanalysis, Carbon Monoxide

ABSTRACT

This study aims to develop a predictive distribution of forest fire smoke/land in the territory of Indonesia. The simulation of smoke spread prediction (hindcast) is using the Weather Research and Forecasting Model with Chemistry (WRF/CHEM) in the case of forest fires/land dated June 14, 2012 in Pekanbaru-Riau region. This study uses the WRF data output resolution 25 km and global emissions. Carbon Monoxide concentration simulation results (CO) which is the WRF/CHEM output describes patterns that are identical to the results of Monitoring Atmospheric Composition and Climate (MACC-Reanalysis 1.1250) outcomes. a qualitative analysis of the results of the both simulation models with satellite imagery MODIS Aqua-Terra, NOAA-18 and the Total column CO Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) from NASA has been conducted as well. Both simulation models show a correlation value between the 0.55 - 0.83. In general, it can be concluded that the WRF/CHEM is able to simulate the spread of forest fire smoke/land accurately. The results of this study could be one of the first steps in the development of an early warning system of forest fire spread smoke/land in the territory of Indonesia.

Key Words: WRF/CHEM, MACC-Reanalysis, Carbon Monoxide.

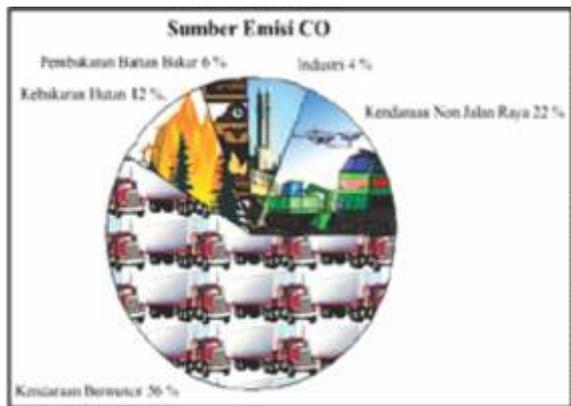
1. Pendahuluan

Kebakaran hutan adalah jenis pembakaran yang tidak tertahan dan menyebar secara bebas dan mengkonsumsi bahan bakar yang terdiri dari serasah, rumput, cabang kayu yang sudah mati, patahan kayu, batang kayu, tunggak, daun-daunan dan pohon-pohonan yang masih hidup [1]. Musim kemarau yang berkepanjangan menjadi salah satu sebab terjadinya kebakaran hutan di beberapa daerah rawan kebakaran ini menyebabkan terjadinya penyebaran asap (*smoke*

dispersion) yang tidak terkendali. Bahaya utama dari kebakaran maupun pembakaran hutan/lahan adalah produksi asap disertai dengan pelepasan sejumlah partikulat [2]. Menurut Suratmo [3] penyebab utama kebakaran hutan/lahan di beberapa wilayah di Indonesia dipengaruhi oleh faktor manusia baik dikarenakan kelalaian maupun kesengajaan (pembukaan lahan/*slash and burning*) dan kecil kemungkinannya disebabkan oleh faktor alamiah seperti fenomena alam, petir, gesekan kayu dan lain-lain.

Dampak asap dan gas-gas yang dihasilkan dapat bervariasi, mulai dari yang bersifat lokal, yaitu menghalangi pemandangan, hingga kemungkinan pemanasan iklim global. Dampak ini sebagian besar merupakan hasil dari produk kimia utama dan emisi sekunder dari pembakaran. *Carbon monoxide* (CO) merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna, sehingga sulit untuk mendeteksi karbon monoksida yang diemisikan akibat kebakaran hutan. Jumlah CO yang dilepaskan oleh api adalah fungsi efisiensi pembakaran, sehingga emisi CO akan meningkat jika pembakaran terjadi tidak efisien. Menurut EPA (2007) kebakaran hutan merupakan salah satu sumber polusi CO terbesar selain dari emisi kendaraan bermotor dan sektor industri (Gambar 1).

Weather Research & Forecasting Environmental Model System (WRF-EMS) merupakan model *Numerical Weather Prediction* (NWP) yang lengkap dan relatif lebih mudah digunakan. Model ini dikembangkan oleh *National Weather Service* (NWS), *Science Operation Officer* (SOO), dan *Science and Training Resource Center* (STRC) yang merupakan gabungan dari *Advanced Research WRF* (WRF-ARW) yang dikembangkan oleh *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) dan *Non-Hydrostatic Mesoscale Model* (WRF-NMM) yang dikembangkan oleh *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), hanya saja untuk keperluan operasional segala kemudahan untuk prediksi cuaca telah disertakan. Model WRF-EMS dapat dijalankan baik pada *single* komputer maupun pada komputer *cluster*.



Gambar 1. Sumber emisi CO [4].

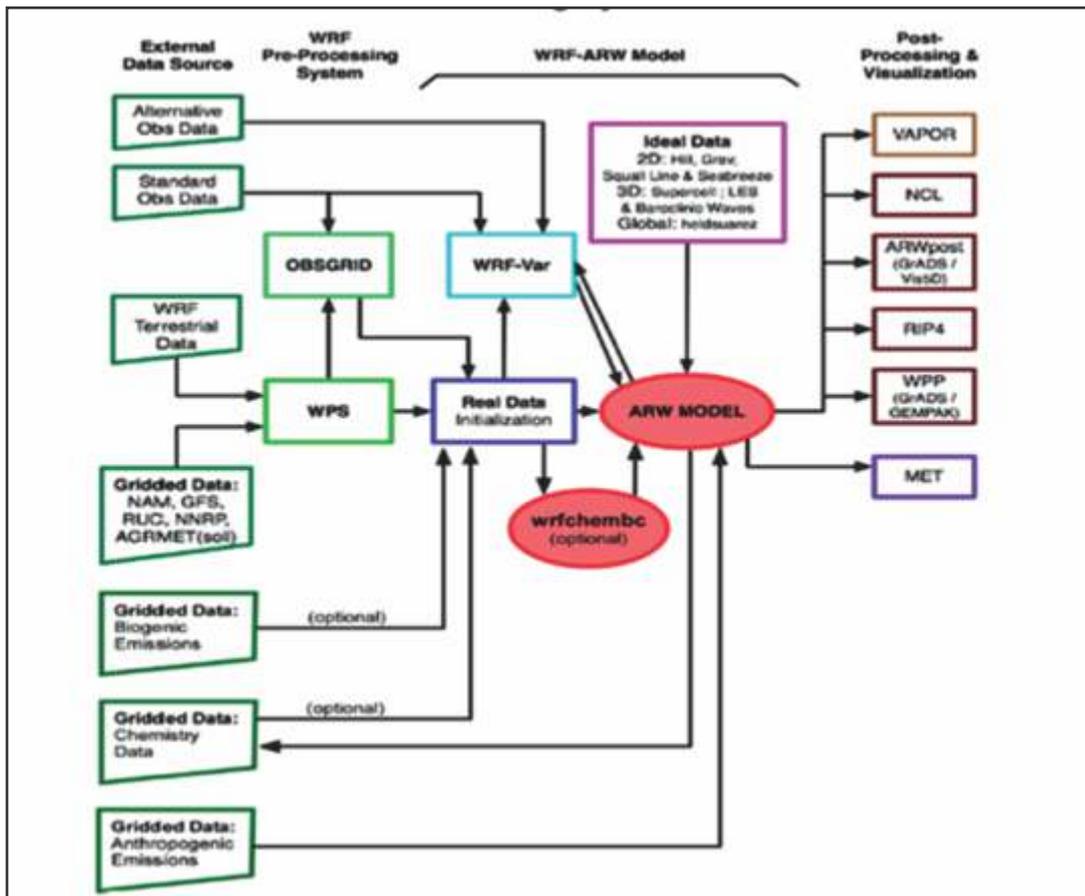
Beberapa keunggulan yang dimiliki model WRF-EMS antara lain:

- Relatif mudah dalam proses instalasi
- Terdapat fungsi *auto update* yang terintegrasi serta dapat melakukan instalasi secara otomatis. Terdapat fungsi benchmark untuk membandingkan hasil yang diperoleh (terdapat baik untuk ARW dan NMM)
- Di desain untuk keperluan riset dan prakiraan harian.
- Memungkinkan pengambilan multi data untuk prakiraan via NFS, FTP dan HTTP.
- Terdapat beberapa server data yang tersedia untuk mengunduh initial kondisi.
- Dokumentasi konfigurasi model terdapat dalam setiap file konfigurasi serta disisipkan juga nilai default-nya.

WRF/CHEM adalah model *Weather Research and Forecasting* (WRF) dikopel (ditambah) dengan *chemistry* (kimia). Model tersebut dapat mensimulasikan emisi, transportasi, pencampuran, dan transformasi kimia jejak gas dan aerosol bersamaan dengan proses meteorologi. Digunakan untuk investigasi skala regional kualitas udara, analisis program lapangan, dan interaksi skala-awan antara awan-awan dan kimia [5].

Dalam model ini terdapat berbagai konfigurasi skema parameterisasi seperti; emisi biogenik, antropogenik, fotolisis, aerosol, dan mekanisme kimia. Konfigurasi tersebut tersusun dalam komponen yang menjadi alur sistem WRF/CHEM (Gambar 2).

Kebakaran hutan dan lahan gambut menjadi fokus utama kejadian kebakaran saat ini, mengingat dampak asap dan emisi karbon yang dihasilkan [5]. Untuk itu perlu adanya suatu model untuk mendeteksi sebaran asap agar dapat dilakukan peringatan dini terhadap daerah yang terkena dampak asap kebakaran. Kurangnya informasi mengenai transport dan sebaran asap di beberapa daerah rawan kebakaran turut memberikan andil dalam penurunan kualitas kesehatan masyarakat disekitar daerah tersebut.



Gambar 2. Diagram alur sistem WRF/CHEM

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data *Global Forecast System* (GFS) yang kemudian di *downscale* dengan menggunakan model WRF-EMS. Model WRF/CHEM membutuhkan data kimia global pembakaran biomassa dari data tambahan emisi *background* GOCART.

Sebagai data verifikasi kuantifikasi CO luaran WRF/CHEM digunakan data *Monitoring Atmospheric Composition and Climate* (MACC-Reanalysis) resolusi 1.1° (derajat) yang merupakan project kolaborasi Uni-Eropa dengan *European Center for Medium range Weather Forecasting* (ECMWF). Untuk mendukung penelitian ini diperlukan juga data citra satelit Aqua-Terra MODIS dan NOAA-18 serta data total kolom CO *Atmospheric Infrared Sounder* (AIRS-NASA) yang digunakan untuk verifikasi pola spasial sebaran CO secara kualitatif.

Secara umum metode yang digunakan untuk penelitian ini terbagi menjadi 3 (tiga) tahap, yaitu:

- Inventori data luaran WRF dan emisi global sebagai masukan data WRF/CHEM, MACC-Reanalysis, citra Aqua-Terra MODIS dan NOAA-18 serta data instrumen *Atmospheric Infrared Sounder* (AIRS).
- Membuat simulasi prediksi sebaran asap kandungan CO menggunakan model WRF/CHEM.

Analisis dan verifikasi terhadap hasil simulasi model.

Gambar 3 menampilkan distribusi *hotspot* (titik berwarna merah) berdasarkan interpretasi citra satelit Aqua-Terra MODIS tanggal 14 Juni 2013 (atas) dan 20 Juni 2013 (bawah). Sebagian besar sebaran hotspot terdistribusi di wilayah Pekanbaru-Riau. Hal ini mengindikasikan bahwa pada tanggal tersebut di wilayah Pekanbaru-Riau berpotensi tinggi terjadi kebakaran hutan/lahan.

Luaran WRF diperoleh dari model prediksi cuaca numerik *Global Forecast System* (GFS) dan model prediksi regional WRF. GFS merupakan model *spectral* beresolusi T574 yang dijalankan secara *real time* 4 (empat) kali sehari oleh *National Center of Environmental Prediction –National Oceanic and Atmospheric Administration* (NCEP-NOAA).

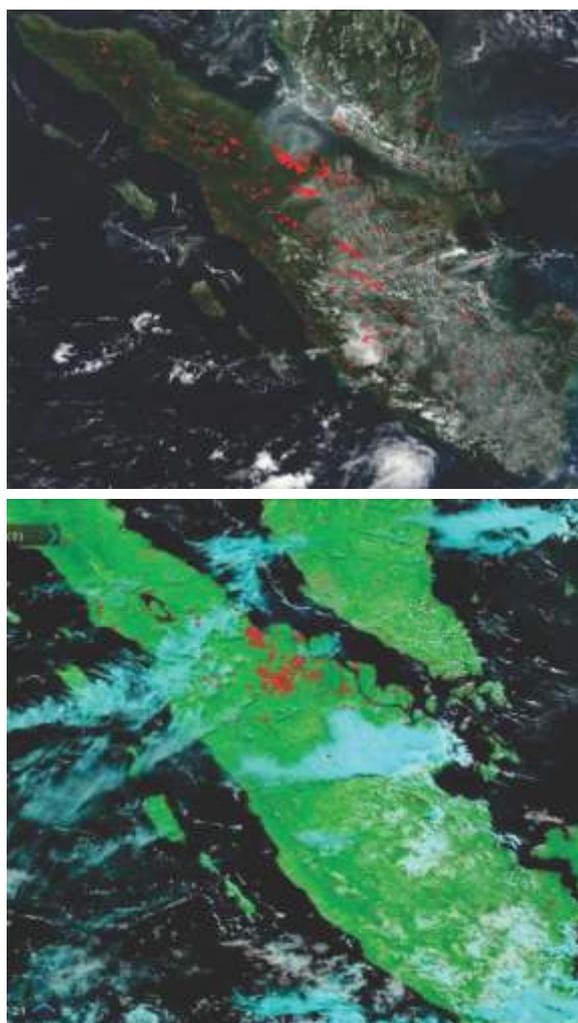
Data prediksi cuaca hasil GFS memiliki resolusi spasial yang rendah ($0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$). Untuk memperoleh kualitas prediksi cuaca yang lebih akurat, resolusi spasial ditingkatkan (*downscaling*) menggunakan model prediksi cuaca numerik regional (skala meso) WRF. Teknik *downscaling* dilakukan hingga resolusi spasial $25 \text{ km} \times 25 \text{ km}$ untuk prediksi 3 (tiga) hari kedepan. Jenis data luaran WRF yang digunakan sebagai masukan data WRF/CHEM adalah *met.em*

dengan format *Network Common Data File* (NetCDF/NC).

Data *MACC Reanalysis* yang digunakan adalah data parameter CO permukaan, dengan interval waktu 6 jam-an. Data ini dapat diunduh secara gratis di http://dataportal.ecmwf.int/data/d/macc_reanalysis/ [7]. Data citra NOAA-18 yang digunakan tanggal 20 Juni 2012, sedangkan data citra Aqua-Terra MODIS dan data AIRS yang digunakan pada periode 14 dan 20 Juni 2012, data tersebut dapat diunduh secara gratis pada website resmi milik NASA.

Prediksi Sebaran Asap dengan WRF/CHEM.

Model prediksi asap ini menggunakan pengaruh langsung emisi melalui interaksi atmosfer, fotolisis dan mikrofisika, namun belum menggunakan pilihan skema emisi. Proses kimia pada model diperlukan dalam penambahan data input grid emisi. Data input tambahan ini disediakan oleh WPS (bagian *dust erosion*) dalam inisialisasi *real.exe* (yaitu pembakaran biomassa, emisi biogenik, dll) atau membaca selama eksekusi WRF (yaitu emisi antropogenik, syarat batas, emisi vulkanik, dll).



Gambar 3. Distribusi hotspot tanggal 14 juni (atas) dan 20 juni (bawah) Aqua-Terra MODIS

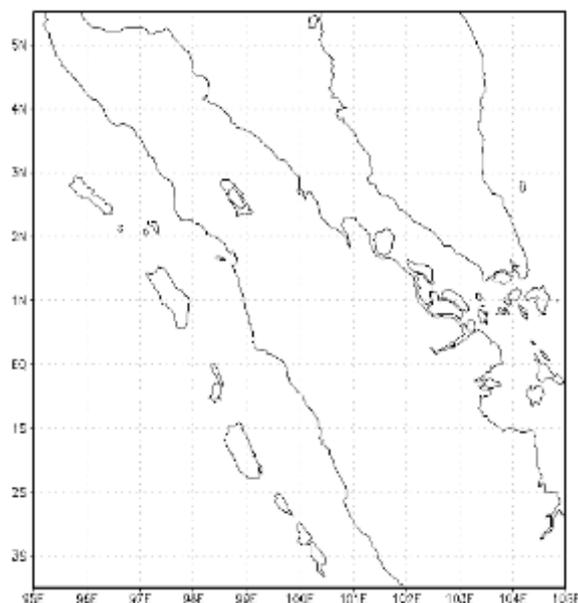
Luasan domain prediksi asap kebakaran hutan/lahan dibatasi pada 95 sampai 105 bujur timur dan -4 sampai 5.5 lintang selatan (Gambar 4). Interval waktu simulasi prediksi asap adalah 3 jam selama 1 (satu) hari kedepan.

Dalam penelitian ini, tipe distribusi asap yang dipilih menggunakan konfigurasi bawaan (*default*) dari model WRF/CHEM. Syarat awal dan syarat batas kimia dalam WRF/CHEM menggunakan data model global MOZART-4 atau CAM-CHEM yang dapat diunduh di [8].

Analisis dan verifikasi dilakukan dengan pendekatan kualitatif maupun kuantitatif. Metode kualitatif digunakan untuk membandingkan pola sebaran asap antara model WRF/CHEM dan *MACC-Reanalysis* dengan citra satelit Terra-Aqua MODIS dan data instrumen AIRS. Untuk metode kuantitatif dilakukan dengan mencari korelasi nilai CO maksimum antara model WRF/CHEM dengan *MACC-Reanalysis*. Nilai konsentrasi CO dari kedua model dianalisis dengan menggunakan persamaan 1 berikut [9,10]:

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

Dimana, F = nilai prediksi WRF dan Y = nilai prediksi *MACC-Reanalysis*.



Gambar 4. Luasan domain model

Digunakan juga *Root Mean Square Error (RMSE)* untuk mengetahui seberapa besar *error* antara prediksi konsentrasi CO maksimum dari kedua model tersebut. Perhitungan menggunakan RMSE dapat dilihat pada persamaan 2:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (F_n - Y_n)^2} \quad \dots(2)$$

Nilai prediksi CO maksimum hasil model dikatakan baik jika memiliki nilai korelasi yang tinggi (nilai 1) dan RMSE yang rendah (nilai 0).

3. Hasil Dan Pembahasan

Gambar 5 merupakan identifikasi sebaran asap dari citra satelit Aqua-Terra MODIS periode 14 Juni 2012 yang dianalisis dengan melakukan koreksi pantulan (reflektansi) pada objek permukaan bumi pada kanal (7-2-1), untuk diperoleh sebaran asap yang lebih jelas dari data citra. Sebaran asap dapat ditunjukkan dengan lingkaran berwarna merah di atas Selat Malaka. Identifikasi asap mengumpul pada sekitar Selat Malaka. Pola spasial menunjukkan bahwa sebaran asap terkonsentrasi diatas perairan sekitar Semenanjung Malaysia

Gambar 6 menunjukkan *overlay* (tumpang-tindih) data *Carbon Monoxide Total Column* dari AIRS periode 14 Juni 2012 dengan citra Aqua-Terra MODIS. Terlihat bahwa sebaran asap jelas terlihat di sekitar Semenanjung Malaysia.

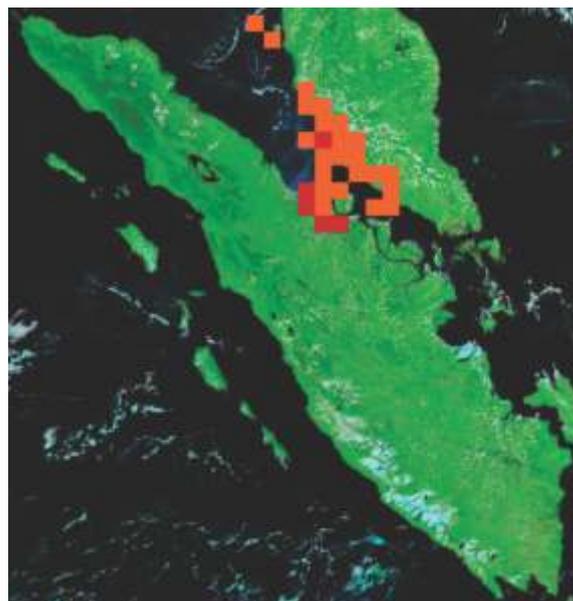
Gambar 7 menunjukkan pola sebaran asap hasil pantauan citra NOAA-18 tanggal 20 Juni 2012 (ditandai garis hitam). Hasil pantauan citra satelit NOAA-18 menunjukkan bahwa distribusi asap bergerak dominan kearah utara dan masih terkonsentrasi diatas perairan Semenanjung Malaysia.



Gambar 5. Koreksi reflektansi permukaan Aqua-Terra MODIS (7-2-1) tanggal 14 Juni 2012

Sedangkan hasil *overlay* antara citra Aqua-Terra dan data *Total Column Carbon Monoxide* tanggal 20 Juni 2012 (Gambar 8) memperlihatkan pola yang sesuai dengan pantauan citra NOAA-18 yaitu terkonsentrasi diatas wilayah perairan Semenanjung Malaysia dan bergerak kearah utara.

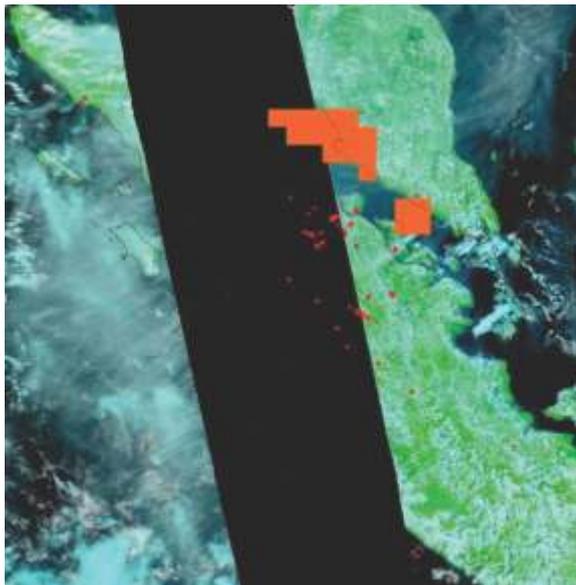
Untuk melihat kehandalan model WRF/CHEM dilakukan perbandingan luaran model WRF/CHEM dengan data *MACC-Reanalysis*. Gambar 9 dan 10 adalah perbandingan hasil simulasi prediksi asap (konsentrasi CO) antara model WRF/CHEM resolusi 25 km dengan model *MACC-Reanalysis* resolusi (1.1°) ≈ 125km pada pukul 07.00, 13.00, dan 19.00 WIB. Hasil simulasi prediksi sebaran asap model WRF/CHEM dan *MACC-Reanalysis* menggunakan interval waktu 6 jam-an selama 24 jam.



Gambar 6. Citra Aqua-Terra MODIS di *overlay* dengan TC-CO AIRS tanggal 14 Juni 2012



Gambar 7. Citra NOAA-18 tanggal 20 Juni 2012



Gambar 8. Citra Aqua-Terra MODIS di *overlay* dengan TC-CO AIRS tanggal 20 Juni 2012

Gambar 9a merupakan prediksi sebaran asap (CO maksimum) model WRF/CHEM pukul 07.00 WIB pada tanggal 14 Juni 2012. Terlihat konsentrasi CO maksimum berada di atas wilayah Tanjung Balai, Sumatera Utara dan Selat Malaka. Sedangkan Gambar 9d merupakan prediksi sebaran asap (CO maksimum) *MACC-Reanalysis* pukul 07.00 WIB pada tanggal 14 Juni 2012. Terlihat konsentrasi CO maksimum berada di atas wilayah Selat Malaka dan sebagian kecil Malaysia. Selanjutnya Gambar 9b merupakan prediksi sebaran asap (CO maksimum) model WRF/CHEM pukul 13.00 WIB pada tanggal 14 Juni 2012. Terlihat konsentrasi CO maksimum menyempit pada area di atas wilayah Selat Malaka. Sedangkan Gambar 9e merupakan prediksi sebaran asap (CO maksimum) *MACC-Reanalysis* pukul 13.00 WIB pada tanggal 14 Juni 2012. Terlihat konsentrasi CO maksimum masih berada di atas wilayah Selat Malaka dan sebagian kecil Riau. Kemudian Gambar 9c merupakan prediksi sebaran asap (CO maksimum) model WRF/CHEM pukul 19.00 WIB pada tanggal 14 Juni 2012. Terlihat konsentrasi CO maksimum meluas pada area di atas wilayah Selat Malaka. Sedangkan Gambar 9f merupakan prediksi sebaran asap (CO maksimum) *MACC-Reanalysis* pukul 19.00 WIB pada tanggal 14 Juni 2012. Terlihat konsentrasi CO maksimum sedikit meluas di atas wilayah Selat Malaka dan sebagian kecil Riau.

Gambar 10a merupakan prediksi sebaran asap (CO maksimum) model WRF/CHEM pukul 07.00 WIB pada tanggal 20 Juni 2012. Terlihat konsentrasi CO maksimum berada di atas Selat Malaka ke utara. Sedangkan Gambar 10d merupakan prediksi sebaran asap (CO maksimum) *MACC-Reanalysis* pukul 07.00 WIB pada tanggal 20 Juni 2012. Terlihat konsentrasi CO maksimum berada di atas wilayah Selat Malaka dan sebagian Malaysia. Selanjutnya Gambar 10b merupakan prediksi sebaran asap (CO maksimum)

model WRF/CHEM pukul 13.00 WIB pada tanggal 20 Juni 2012. Terlihat konsentrasi CO maksimum di atas wilayah Selat Malaka bergerak ke tenggara. Sedangkan Gambar 10e merupakan prediksi sebaran asap (CO maksimum) *MACC-Reanalysis* pukul 13.00 WIB pada tanggal 20 Juni 2012. Terlihat konsentrasi CO maksimum masih berada di atas wilayah Selat Malaka dan bergerak ke arah tenggara sepanjang pulau Sumatera hingga Riau. Kemudian Gambar 10c merupakan prediksi sebaran asap (CO maksimum) model WRF/CHEM pukul 19.00 WIB pada tanggal 20 Juni 2012. Terlihat konsentrasi CO maksimum meluas pada area di atas wilayah sepanjang Selat Malaka. Sedangkan Gambar 10f merupakan prediksi sebaran asap (CO maksimum) *MACC-Reanalysis* pukul 19.00 WIB pada tanggal 20 Juni 2012. Terlihat konsentrasi CO maksimum menyempit di atas wilayah Selat Malaka dan sebagian kecil Malaysia.

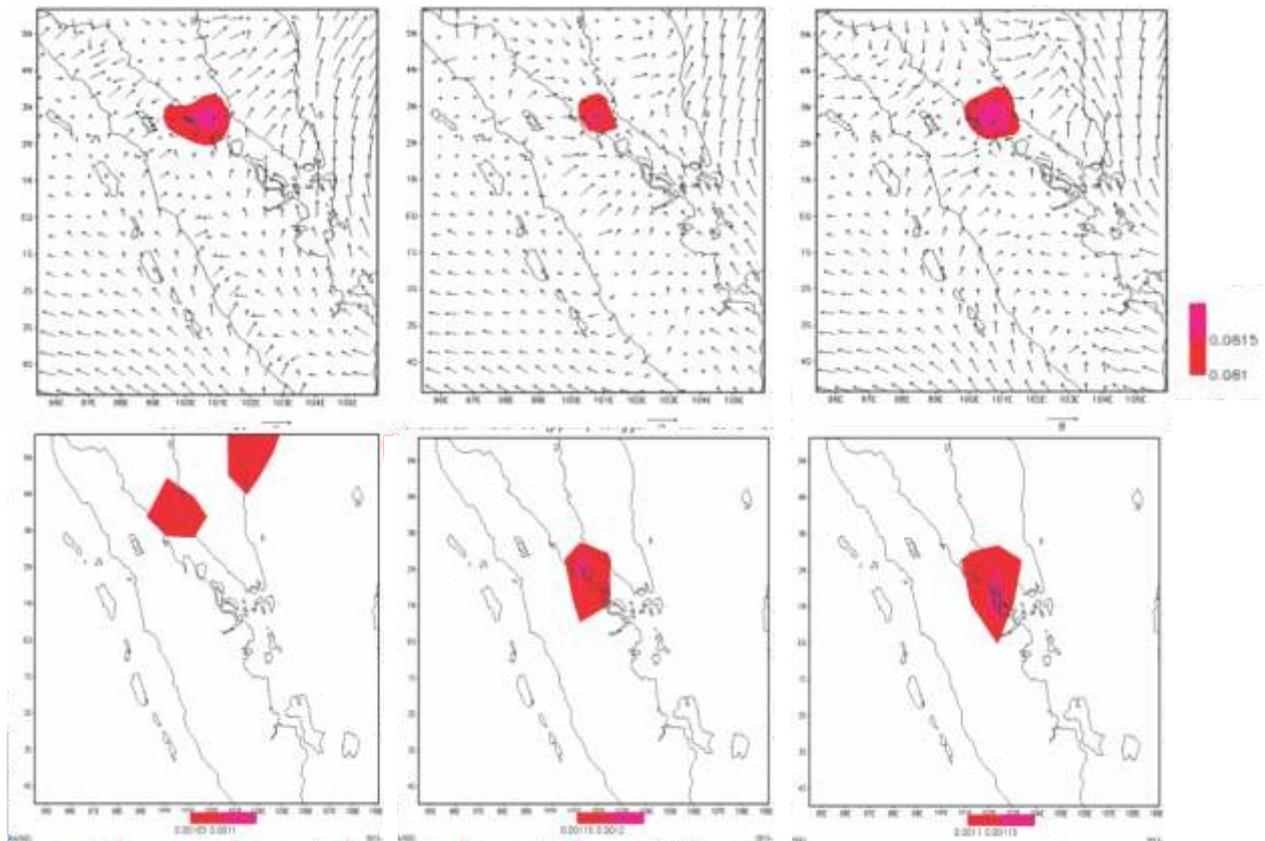
Prediksi sebaran asap pada semua periode waktu tanggal 14 Juni 2012 mempunyai pola spasial yang hampir sama, pola sebaran asap dari kedua model tersebut terdistribusi tidak terlalu jauh dari sumber hotspot di wilayah Pekanbaru-Riau. Sedangkan distribusi spasial tanggal 20 Juni 2012 pukul 07.00, dan 13.00 WIB memiliki pola global yang mirip, namun pada pukul 19.00 WIB pola sebaran asap antara WRF/CHEM dan *MACC-Reanalysis* mempunyai pola CO maksimum yang berbeda. Pola sebaran WRF/CHEM sebagian ada yang terdistribusi di bagian barat daya Pulau Sumatera, sedangkan pola *MACC-Reanalysis* ada yang terdistribusi disebelah timur wilayah Malaysia.

Hasil perbandingan simulasi menunjukkan bahwa pola distribusi spasial sebaran asap dari kedua model tersebut hampir sama. Prediksi sebaran asap pada semua periode tanggal 14 dan 20 Juni 2012 antara model WRF/CHEM dan *MACC-Reanalysis* mempunyai pola spasial yang mirip, pola sebaran asap dari kedua model tersebut terdistribusi diatas wilayah perairan Semenanjung Malaysia.

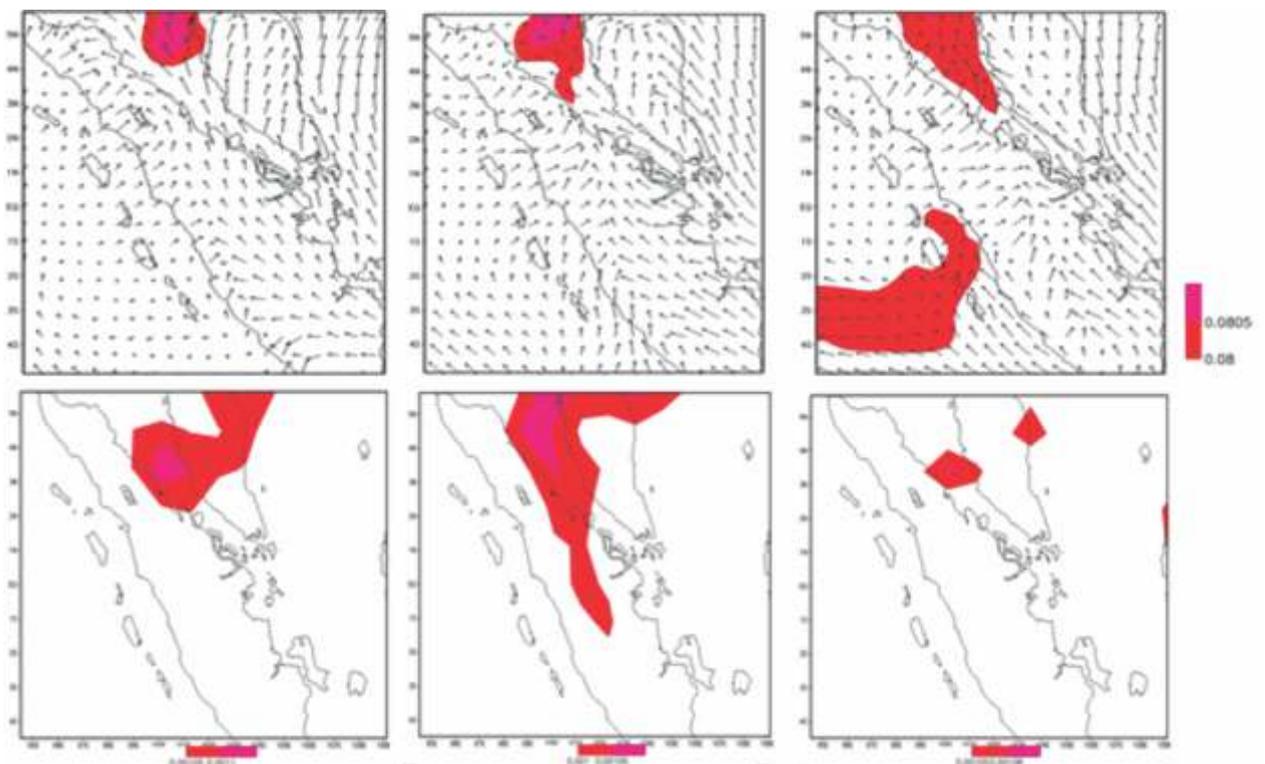
Hasil verifikasi prediksi sebaran asap dilakukan dengan membandingkan nilai CO maksimum antara kedua model tersebut. Gambar 11 merupakan perbandingan rata-rata CO maksimum model WRF/CHEM (garis biru) dengan *MACC-Reanalysis* (garis merah) pada tanggal 14 Juni 2012, dengan sumbu horizontal menunjukkan waktu lokal dan sumbu vertikal satuan dalam ppm. Hasil simulasi model menunjukkan WRF/CHEM dan *MACC-Reanalysis* mampu menggambarkan pola sebaran asap kebakaran hutan/lahan, secara spasial mempunyai pola yang identik dengan data citra Aqua-Terra MODIS, NOAA-18 dan instrumen AIRS. Sedangkan Gambar 12 merupakan perbandingan rata-rata CO maksimum model WRF/CHEM (garis biru) dengan *MACC-Reanalysis* (garis merah) pada tanggal 20 Juni 2012, dengan sumbu horizontal menunjukkan waktu lokal dan sumbu vertikal satuan dalam ppm. Hasil

simulasi model menunjukkan WRF/CHEM dan *MACC-Reanalysis* juga mampu menggambarkan pola sebaran asap kebakaran hutan/lahan, secara spasial

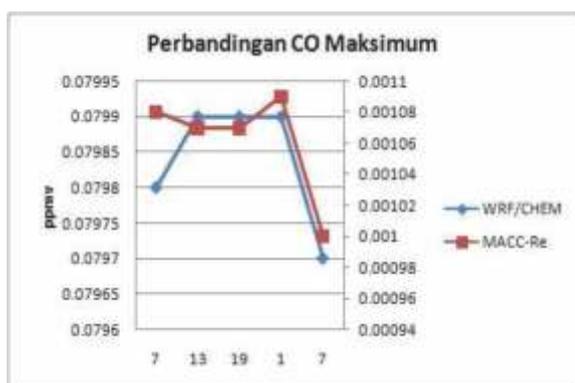
mempunyai pola yang identik dengan data citra Aqua-Terra MODIS, NOAA-18 dan instrumen AIRS.



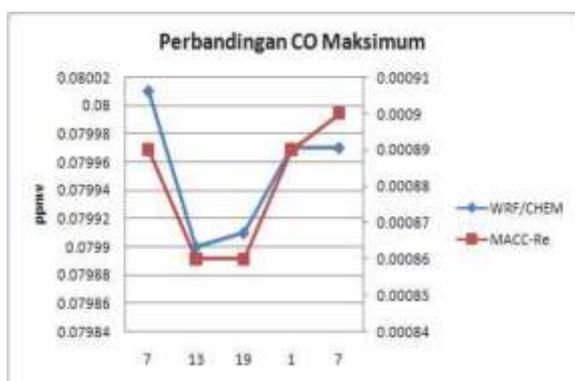
Gambar 9. Prediksi sebaran asap (CO maks.) WRF/CHEM (atas) dan *MACC-Reanalysis* (bawah) periode 13, 19, dan 01 WIB tanggal 14 Juni 2012



Gambar 10. Prediksi sebaran asap (CO maks.) WRF/CHEM (atas) dan *MACC-Reanalysis* (bawah) periode 13, 19, dan 01 WIB tanggal 20 Juni 2012



Gambar 11. Perbandingan nilai CO maksimum tanggal 14 Juni 2012



Gambar 12. Perbandingan nilai CO maksimum tanggal 20 Juni 2012

Sedangkan secara kuantitatif dilakukan perhitungan korelasi dan RMSE untuk melihat seberapa besar perbedaannya. Tabel 1 merupakan Korelasi dan RMSE Perbandingan CO maksimum model WRF/CHEM dengan MACC-Reanalysis. Nilai korelasi dari kedua model menunjukkan korelasi yang baik, tanggal 14 Juni 2012 mempunyai korelasi sebesar 0.870 dengan nilai RMSE sebesar 0.079, sedangkan korelasi nilai tanggal 20 Juni 2012 sebesar 0.831 dengan nilai RMSE 0.078 (Tabel 1). Dengan demikian perbandingan nilai CO maksimum WRF/CHEM dan MACC-Reanalysis diperoleh bahwa WRF/CHEM mempunyai nilai rata-rata lebih tinggi dari MACC-Reanalysis.

Tabel 1. Korelasi dan RMSE Perbandingan CO maksimum model WRF/CHEM dengan MACC-Reanalysis.

	14 Juni 2012	20 Juni 2012
Korelasi	0.870	0.831
RMSE	0.079	0.078

4. Kesimpulan

Model WRF/CHEM mampu memprediksi sebaran asap kebakaran hutan/lahan sesuai dengan identifikasi citra satelit Aqua-Terra MODIS, NOAA-18 dan data instrumen AIRS. Kuantifikasi asap (konsentrasi CO maksimum) antara model WRF/CHEM dan MACC-Reanalysis mempunyai korelasi nilai yang cukup tinggi (0.831-0.870) dan nilai RMSE yang kecil (0.078-0.079). Hal ini menunjukkan bahwa kedua model ini mempunyai hasil prediksi yang cukup baik.

Model ini dapat direkomendasikan untuk sistem peringatan dini sebaran asap kebakaran hutan/lahan di wilayah Indonesia.

Daftar Pustaka

- [1] Fuller, M.,(1991),*Forest fires: an introduction to wildland fire behavior, management, firefighting, and prevention*, Wiley Nature Edition, New York: John Wiley and Son.
- [2] DeBano,L.F, D.G. Neary, & P.F. Folliott, 1998. *Fire's Effects on Ecosystems*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 333 p.
- [3] Suratmo, F. G., Husaini, E. A., & Jaya, I. N. S.,(2003), *Pengetahuan Dasar Pengendalian Kebakaran Hutan*, Bogor: Fakultas Kehutanan IPB.
- [4] EPA 2007. *Report on the Environment: Science Report (SAB Review Draft)*
- [5] Taconi, L., (2003), *Kebakaran Hutan di Indonesia: Penyebab, Biaya dan Implikasi Kebijakan*, Bogor : Center for International Forestry Research (CIFOR).
- [6] Peckham, S., Grell, G. A., McKeen, S. A., Barth, M., Pfister, G., Wiedinmyer, C., et. al., (2011), *WRF-Chem Version 3.3 User's Guide*, 14 December 2011, National Center for Atmospheric Research Boulder, Colorado, USA.
- [7] (http://dataportal.ecmwf.int/data/macc_reanalysis/), diakses tanggal 1 November 2013.
- [8] (<http://www.acd.ucar.edu/wrfCHEM/download.shtml>), diakses tanggal 1 November 2013.
- [9] Kyun, R. D., (2002). *Training course on weather forecasting for operational meteorologist: post processing*, Meteorological Training Division, Korea Meteorological Administration.
- [10] Wilks, D. S. (2006) : *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Academic Press, USA.