

PENGENALAN ASIMILASI DATA KIMIA

Nani Cholianawati

e-mail: nani.cholianawati@lapan.go.id

Ringkasan

Asimilasi data kimia merupakan penggabungan data luaran model transpor kimia dengan data pengamatan. Manfaat yang diperoleh dengan dilakukannya asimilasi data kimia adalah peningkatan akurasi prediksi kualitas udara. Melalui asimilasi tersebut, diharapkan nilai konsentrasi spesies kimia akan mendekati nilai yang sebenarnya. Perkembangan pengamatan komposisi atmosfer oleh satelit membantu menghasilkan asimilasi data kimia vertikal. Metode asimilasi kimia telah banyak berkembang dan diklasifikasikan menjadi metode interpolasi, variasional, filter Kalman, dan Monte Carlo.

PENDAHULUAN

Asimilasi data merupakan pendekatan statistik yang menggabungkan pengamatan dan prediksi jangka pendek. Tujuan asimilasi data adalah untuk menghasilkan kondisi atmosfer (atau lautan) seakurat mungkin dengan menggunakan semua informasi yang tersedia¹. Selain itu, tujuan asimilasi data dalam bidang atmosfer adalah untuk memperoleh representasi atmosfer yang lebih baik dalam variabel cuaca (temperatur, tekanan, dll) maupun kimia atmosfer (ozon, *particulate matter*, dll)².

Asimilasi data telah lama digunakan dalam bidang meteorologi untuk meningkatkan akurasi ramalan cuaca dan memperoleh gambaran cuaca masa lalu. Penggunaan asimilasi data dalam kimia atmosfer belum lama digunakan dan baru dimulai sejak pertengahan 1990-an. Hal ini dikarenakan model deterministik numerik kimia atmosfer dibutuhkan untuk peramalan kualitas udara, yang sebelumnya ramalan kualitas udara dibangun dengan pendekatan statistik.

Asimilasi data kimia menghasilkan prediksi kondisi kimia atmosfer dengan metode penggabungan informasi dari tiga sumber yaitu hasil model, observasi atau pengamatan, dan prakiraan sebaran polutan di atmosfer. Asimilasi data juga telah banyak diaplikasikan pada bidang prediksi cuaca numerik dan pemodelan laut. Asimilasi data kimia mulai berperan penting dalam studi komposisi atmosfer dan banyak aplikasi yang berhasil menggambarkan manfaatnya. Manfaat asimilasi data kimia, **pertama** adalah peningkatan kondisi awal dan batas. Manfaat **kedua**

adalah estimasi emisi secara *top-down* yaitu emisi permukaan yang digunakan dalam model transpor kimia dilakukan penyesuaian (*adjust*) untuk meminimalkan perbedaan antara prediksi model dan pengamatan atmosfer. Kedua manfaat tersebut berkontribusi pada prediksi kualitas udara yang lebih baik. Asimilasi data kimia menghadapi tantangan khusus terkait dengan beberapa proses fisis dalam model, kekakuan persamaan kimia, observasi kimia yang jarang, dan ketidakpastian tingkat emisi antropogenik maupun alami².

Interaksi kimia berlangsung pada berbagai skala temporal (dari milidetik hingga harian). Hal ini menyebabkan sistem secara numerik menjadi ketat. Konsentrasi spesies radikal berumur pendek mengikuti konsentrasi spesies berumur panjang melalui hubungan kuasi kondisi tunak (diasumsikan telah masuk kondisi tunak walaupun kenyataannya tidak). Evolusi kimia akan meluruh pada ruang berdimensi rendah sehingga jika perhitungan nilai meteorologis dilakukan secara *offline* (terpisah dari model transpor kimia) maka rangkaian simulasi akan cenderung berkumpul pada trayektori yang sama. Akibatnya penyesuaian langsung spesies radikal melalui asimilasi data menjadi tidak layak dilakukan.

Pada simulasi kualitas udara regional, pengaruh kondisi awal memudar seiring waktu, dan nilai konsentrasi sebagian besar ditentukan oleh emisi dan proses pencucian. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kemampuan analisis model transpor kimia perlu mempertimbangkan estimasi parameter emisi dan batas lateral melalui asimilasi data. Selain itu, baik emisi antropogenik maupun emisi sumber alami kurang dibatasi dikarenakan informasi emisi sebelumnya sangat tidak pasti. Salah satu solusi untuk mengatasinya adalah dengan melakukan estimasi emisi secara *top-down*.

Observasi komponen kimia masih jarang, dikarenakan jaringannya tidak selengkap yang digunakan dalam prediksi cuaca numerik. Konsentrasi partikulat dan kimia dengan observasi lokal dipengaruhi secara kuat oleh variabilitas lokal, namun digunakan untuk membatasi bidang tiga dimensi skala luas. Saat ini terdapat pertumbuhan yang cukup besar dalam ketersediaan data konsentrasi *tracer* penginderaan jauh (satelit).

Kesulitan tambahan muncul dari sifat simulasi yang multi fisis, yaitu evolusi ditentukan oleh beberapa proses fisis yang berkompetisi. Sistem asimilasi data yang berhasil perlu memperhitungkan secara benar korelasi kesalahan antar spesies kimia (melalui interaksi kimia) dan antara variabel kimia dan dinamika (melalui proses transpor).

MODEL TRANSPOR KIMIA

Konsentrasi kimia di atmosfer dipengaruhi oleh empat proses yaitu transpor, reaksi kimia, emisi, dan deposisi. Model numerik 3-D (3 dimensi) yang mensimulasikan proses-proses tersebut untuk menggambarkan variabilitas dalam ruang dan waktu dari kimia di atmosfer, menggunakan informasi cuaca sebagai masukan, disebut model transpor kimia. Model transpor kimia menyelesaikan persamaan kontinuitas konservasi massa kimia di atmosfer⁴.

Model transpor kimia memberikan gambaran matematis dari pengetahuan saat ini terhadap proses penentuan komposisi atmosfer, sehingga mencakup aplikasi penelitian kimia atmosfer dalam rentang ruang yang sangat luas. Model transpor kimia umumnya digunakan untuk menginterpretasikan observasi atmosfer, dalam hal memahami proses yang mendasarinya. Model transpor kimia menyediakan hubungan antara sumber dan penerima untuk memahami bagaimana konsentrasi pada lokasi tertentu yang sensitif terhadap emisi yang berlawanan dengan arah angin. Model transpor kimia memungkinkan untuk menyusun ketersediaan data kimia atmosfer global dan regional, yang memungkinkan proyeksi masa depan dengan skenario yang berbeda. Model transpor kimia mendefinisikan pengetahuan awal observasi satelit komposisi atmosfer dan memeriksa konsistensi hasil pengamatan kimia dari *platform* yang berbeda. Model transpor kimia dapat diterapkan untuk membatasi fluks permukaan dengan menggunakan pengukuran konsentrasi atmosfer (melalui pemodelan inversi), atau untuk mengintegrasikan berbagai macam observasi untuk memperoleh gambaran optimal komposisi atmosfer (melalui data asimilasi kimia).

Secara definisi, model transpor kimia tidak mensimulasikan dinamika atmosfer namun menggunakan informasi kondisi cuaca sebagai input. Model transpor kimia harus dibedakan dari model sirkulasi global (GCM) yang mensimulasikan dinamika atmosfer pada skala global, atau model dinamika dengan resolusi lebih halus seperti model iklim regional (RCM) pada skala regional. GCM dan RCM mensimulasikan dinamika iklim melalui solusi persamaan kekekalan momentum, energi, dan air. GCM dan RCM juga melibatkan persamaan kontinuitas kimia selain air, untuk menggambarkan interaksinya dengan iklim (ozon, aerosol, dll) atau berperan sebagai telusur. GCM dan model dinamik lainnya dapat berupa *free-running* dalam hal mensimulasikan iklim dengan statistik namun bukan cuaca pada tahun tertentu; model tersebut digunakan untuk simulasi perubahan iklim atau saat seseorang memerlukan representasi pertama prinsip dinamika iklim. Model tersebut dapat dibatasi untuk

mensimulasikan tahun dengan kondisi cuaca tertentu (anomali) melalui asimilasi numerik terhadap observasi cuaca; hasilnya berupa data meteorologi terasimilasi yang menyediakan representasi cuaca 3-D global berkelanjutan yang benar terhadap observasi, namun juga konsisten secara internal dengan pemahaman fisiknya. Model transpor kimia umumnya menggunakan data meteorologi terasimilasi untuk mensimulasikan observasi kimia pada tahun tertentu. Model tersebut menggunakan data meteorologi dari GCM untuk mensimulasikan komposisi atmosfer untuk iklim masa lalu atau mendatang, atau saat dianggap penting untuk mencegah perbedaan data dari asimilasi numerik.

OBSERVASI KIMIA

Pengukuran unsur kimia atmosfer makin banyak dilakukan oleh berbagai lembaga di dunia pada akhir-akhir ini. Banyak jaringan pengamatan dibangun untuk memantau kualitas udara pada level permukaan secara rutin. Namun demikian, pengukuran permukaan harus dikombinasikan dengan profil vertikal untuk menghasilkan kondisi konstituen atmosfer tiga dimensi. Untuk melengkapi pengukuran permukaan, terdapat observasi yang secara reguler dilakukan melalui jaringan yang mengoperasikan balon dan lidar. Penambahan profil vertikal, proses kimia dan dinamika atmosfer dapat dipahami lebih baik. Jaringan tersebut misalnya SHADOZ (*Southern Hemisphere Additional Ozonesondes*) telah beroperasi sejak 1998. Jaringan lidar berkontribusi terhadap studi kimia atmosfer dengan menghasilkan data akhir secara vertikal di area yang luas. Pengamatan dengan menggunakan 14 lidar NIES (*National Institute for Environmental Studies*) Jepang dan sistem asimilasi RAMS/CFORS-4DVAR, Yumimoto dkk berhasil meneliti pergerakan dan emisi debu mineral di Asia Timur selama kejadian debu pada musim semi tahun 2007.

Sebagai tambahan jaringan pengukuran *in-situ*, sejumlah instrumen satelit dengan kemampuan mengukur unsur kimia atmosfer di lapisan troposfer dan stratosfer telah beroperasi untuk menghasilkan pengukuran *real time*. Sebagai contoh, Aura, satelit EOS (*Earth Observing System*) milik NASA yang diluncurkan 2004, mempelajari kimia atmosfer mengikuti Terra yang diluncurkan 1999 dan Aqua tahun 2002. Aura membawa OMI (*Ozone Monitoring Instrument*) dan TES (*Tropospheric Emission Spectrometer*), dan MLS (*Microwave Limb Sounder*). MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) pada satelit Terra (EOS pagi) dan Aqua (EOS sore) menghasilkan pengamatan AOD (*aerosol optical depth*) *real time* dengan resolusi dan cakupan spasial yang baik dan digunakan di banyak aplikasi asimilasi aerosol. Salah satu upaya paling awal dalam

asimilasi data kimia yaitu tipe OI skema analisis statistik untuk mengasimilasikan data total ozon dari TOMS (*Total Ozone Mapping Spectrometer*) dan pengamatan profil ozon parsial dari SBUV/2 (*Solar Backscatter Ultraviolet/2*) pada model transpor ozon secara *off-line*. Cakupan horisontal observasi satelit yang luas akan saling melengkapi dengan pengukuran *in-situ* yang sering ditempatkan pada tempat yang telah ditentukan. Gabungan dua tipe observasi secara bersamaan dalam sistem asimilasi data kimia dilakukan dengan mengasimilasikan kedua observasi, baik CO₂ dari satelit TES dan pengukuran permukaan.

Tabel 1. Ringkasan instrumen satelit periode setelah tahun 2003 hingga sekarang dan spesies komposisi atmosfer yang diamatinya

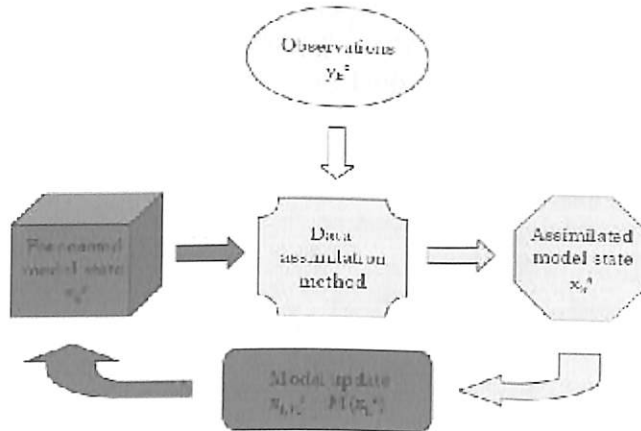
No.	Sensor (Satelit)	Periode pengukuran	Spesies
1.	SCIAMACHY (ENVISAT)	2002-2012	NO ₂ , SO ₂ , HCHO, CO, CH ₄ , CO ₂ , AOD, O ₃ , CHOCHO
2.	OMI (EOS-Aura)	2004-	NO ₂ , SO ₂ , HCHO, AOD, O ₃ , CHOCHO
3.	GOME-2 (METOP-A) GOME-2 (METOP-B)	2006-2012	NO ₂ , SO ₂ , HCHO, AOD, O ₃ , CHOCHO
4.	AIRS (EOS-Aqua)	2002-	O ₃ , SO ₂ , CO, CH ₄ , CO ₂
5.	MOPITT (EOS-Terra)	2000-	CO, CH ₄
6.	TES (EOS-Aura)	2004-	O ₃ , CO, CH ₄ , NH ₃ , CO ₂
7.	IASI (METOP-A) IASI (METOP-B)	2006- 2012-	O ₃ , SO ₂ , CO, CH ₄ , NI ₃ , NMVOC, NH ₃ , CO ₂
8.	MISR (EOS-Terra)	2000-	AOD
9.	MODIS (EOS-Terra) MODIS (EOS-Aqua)	2000- 2002-	AOD, kebakaran
10.	VIIRS (Suomi-NPP)	2011-	AOD, kebakaran
11.	POLDER (PARASOL)	2004-2013	AOD, properti aerosol
12.	CALIOP (CALIPSO)	2006-	Profil <i>backscatter</i> AOD
13.	GOCI (COMS)	2010-	AOD
14.	TANSO-FTS (GOSAT)	2009-	CH ₄ , CO ₂

Sumber: Bocquet dkk²

METODE ASIMILASI DATA KIMIA

Pada asimilasi data, konsentrasi hasil perhitungan model dan observasi dikombinasikan membentuk nilai konsentrasi terasimilasi. Jika nilai model lebih tidak pasti dibanding nilai observasi, secara umum observasi akan mendapat bobot lebih, dan nilai terasimilasi akan cenderung lebih mendekati nilai observasi, dan sebaliknya jika nilai

observasi lebih tidak pasti dibanding nilai luaran model. Nilai konsentrasi terasimilasi akan kemudian secara umum menggambarkan nilai konsentrasi yang lebih baik, (berharap) menjadi lebih mendekati nilai konsentrasi yang 'sebenarnya', dan dengan lebih sedikit ketidakpastian dibanding kedua nilai model maupun observasi.⁵



Sumber: Air4EU

Gambar 1. Siklus asimilasi data⁴

Gambar 1 menunjukkan siklus umum asimilasi data. Prosedur asimilasi data selalu melibatkan dua fase: (1) sebelum observasi digunakan dan (2) setelah observasi diasimilasikan. Kondisi model vektor \mathbf{x} yang terlibat pada fase pertama disebut kondisi model *background* atau prediksi dan dilambangkan oleh \mathbf{x}^f . Nilai ini bersesuaian dengan kondisi model prakiraan terbaik sebelum penggunaan observasi. Istilah *background* atau prediksi berbeda dengan istilah tersebut pada literatur pemodelan polusi sebagai konsentrasi batas atau nilai estimasi mendatang. Pada literatur data asimilasi, istilah tersebut mengacu pada kondisi model tidak terasimilasi, sebelum melibatkan observasi.

Tujuan prosedur asimilasi data adalah untuk mengubah kondisi *background* atau prediksi model \mathbf{x}^f menjadi kondisi terasimilasi \mathbf{x}^a menggunakan observasi \mathbf{y}^o . Tujuannya agar dapat sedekat mungkin dengan kondisi model yang 'sebenarnya' \mathbf{x}^t , mewakili kondisi optimal dengan semua variabel kondisi model memiliki nilai yang paling benar. Kondisi model terasimilasi \mathbf{x}^a kemudian merepresentasikan prakiraan terbaik dari kondisi model yang 'sebenarnya' yang dihasilkan melalui prosedur asimilasi data dengan kondisi model prediksi \mathbf{x}^f dan observasi \mathbf{y}^o yang diberikan.

Teknik asimilasi data telah dikembangkan oleh sejumlah grup

penelitian dan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Metode interpolasi seperti metode *Optimal Interpolation* (OI) dan interpolasi statistik (*Kriging*)
- Metode variasional seperti teknik 3D-var dan 4D-var serta pendekatan PSAS (*Physical-space statistical analysis system*)
- Metode filter Kalman seperti *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) atau *reduced rank Kalman filter* (RR-KF)
- Metode *Sequential Monte Carlo* dan filter partikel seperti metode *Sequential Importance Re-sampling* (SIR)

PENUTUP

Perkembangan observasi spesies kimia melalui penginderaan jauh turut menghasilkan data kimia terasimilasi yang lebih akurat dan mendekati data yang sebenarnya. Asimilasi data kimia yang lebih baik akan menghasilkan prediksi kualitas udara yang lebih baik.

Ucapan terima kasih

Terima kasih disampaikan kepada LAPAN, khususnya Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan tulisan ini.

Daftar Pustaka

- ¹Kalnay, E. 2003. *Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability*. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- ²Bocquet, M. dkk, 2015. *Data assimilation in atmospheric chemistry models: current status and future prospects for coupled chemistry meteorology models*. Atmospheric Chemistry and Physics. doi:10.5194/acp-15-5325-2015
- ³Sandu, A. dan Tianfeng Chai, 2011. *Chemical Data Assimilation—An Overview*. Atmosphere ISSN 2073-4433
- ⁴Chemical Tracer Models: An Introduction. (http://acmg.seas.harvard.edu/education/jacob_lectures_ctms_chap1.pdf, diakses 1 Oktober 2015)
- ⁵Air4EU – WP.6, 2006. *Data Assimilation*. <http://www.air4eu.nl>