

IDENTIFIKASI DAERAH AWAN BERSIH DAN AWAN TERPOLUSI DI WILAYAH INDONESIA MENGGUNAKAN DATA AQUA MODIS DAN AURA MLS

Rosida, Indah Susanti, Nani Cholianawati
Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional (LAPAN)
Email: rosida2009@gmail.com ; indahpl@gmail.com ;
nani.cholianawati@gmail.com

ABSTRACT

Aerosol and carbon monoxide (CO) are pollutant which produced from incomplete combustion such as biomass burning. The role of aerosol itself is very important as cloud condensation nuclei. Clean and polluted cloud is indicated by the value of aerosol concentration in cloud. However aerosol can not be detected by satellite at the time of being inside or around the cloud. In that case, approaches using correlation test between aerosol optical depth (AOD) from Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and CO from Aura Microwave Limb Sounder (MLS) is needed to examine whether CO can be used as a proxy for aerosol. To identify the clean and polluted clouds, quartiles of data CO which indicates the high or the low level of CO concentration are needed. While, to define the cloudy areas, ice water content (IWC) data is used, which is taken from the Aura MLS. Limitation of the clean area, is indicated by value of CO concentration between 70 and 90 ppbv (quartile 1), while the polluted area was quartiles 3 and 4 with the concentration of CO > 110 ppbv, and the limit area for both quartiles have a value of IWC > 2mg/m³. The results of the data correlation on the total data of Indonesia showed a low correlation with the different value (δ) of AOD is $\delta < 0.1$ (low sensitivity). Whereas the correlation results using the cropping data is obtained value of δ between $0.1 < \delta < 0.2$, where the value is included in the category of moderate sensitivity. From the results of the CO and IWC data overlay, also using the graph of classification of clean and polluted clouds, it could be estimated that area in accordance with the criteria is Sumatra and Kalimantan.

Keywords: AOD, CO, IWC, Clear and polluted cloud

ABSTRAK

Aerosol dan carbon monoksida (CO) merupakan polutan yang dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna seperti pembakaran biomasa. Peranan aerosol sendiri sangat penting sebagai inti kondensasi awan. Awan bersih dan terpolusi ditunjukkan oleh nilai konsentrasi aerosol di awan. Akan tetapi aerosol tidak terdeteksi oleh satelit pada saat berada di dalam atau di sekitar awan. Untuk itu dilakukan pendekatan dengan menggunakan uji korelasi antara aerosol optical depth (AOD) dari *Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)* dan CO dari *Aura Microwave Limb Sounder (MLS)* untuk menguji apakah CO dapat digunakan sebagai proksi aerosol. Untuk mengidentifikasi awan bersih dan tercemar digunakan kuartil data CO, yang menunjukkan tinggi atau rendahnya konsentrasi CO. Sedangkan untuk menentukan daerah berawan menggunakan data *ice water content (IWC)*, yang diambil dari MLS Aura. Batasan area bersih ditunjukkan dengan nilai konsentrasi CO antara 70 dan 90 ppbv (kuartil 1), sedangkan daerah tercemar adalah kuartil 3 dan 4 dengan konsentrasi CO > 110 ppbv, dan daerah batas untuk kedua kuartil memiliki nilai dari IWC > 2mg/m³. Hasil korelasi data dari data total Indonesia menunjukkan korelasi yang rendah dengan nilai beda (δ) dari AOD adalah $\delta < 0.1$ (sensitivitas rendah) Sedangkan hasil korelasi dengan menggunakan data *cropping* diperoleh nilai δ , antara $0,1 < \delta < 0,2$, di mana nilai tersebut termasuk dalam kategori sensitivitas moderat. Dari hasil overlay data CO dan IWC dan menggunakan grafik klasifikasi awan bersih dan terpolusi, maka dapat diperkirakan bahwa daerah yang termasuk daerah awan bersih dan awan terpolusi adalah Sumatera dan Kalimantan.

Kata kunci: AOD, CO, IWC, Awan bersih dan terpolusi.

1 PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi dunia dan cepatnya proses industrialisasi telah mengakibatkan peningkatan yang cepat dari jumlah polutan-polutan aerosol di atmosfer. Mayoritas sumber penyebabnya adalah berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, bahan bakar bio, serta emisi dari pembakaran biomasa. Dan sebagai akibat dari peningkatan jumlah polutan-polutan aerosol

ke atmosfer akan mempengaruhi komposisi atmosfer yang menurut beberapa catatan dalam referensi (Brasseur, 2006; Isaksen, 2009; NASA, 2010; Prabir, 2007) bahwa komposisi atmosfer telah mengalami perubahan yang cukup drastis dalam beberapa dekade terakhir ini.

Dari sejumlah penelitian yang menggunakan model telah diprediksikan bahwa aerosol dapat mempengaruhi sistem iklim secara tidak langsung dengan mengubah sifat-sifat awan, seperti ukuran partikel awan, yang akan mempengaruhi proses-proses seperti kondensasi dan tingkat penguapan, pelepasan panas laten, reflektansi awan, waktu tinggal (lifetime), dan curah hujan (Lohmann dan Feichter, 2005). Namun, kuantifikasi dari efek aerosol yang akurat masih diragukan, dan menurut Denman (2007), untuk menentukan secara akurat efek tidak langsung aerosol sangat sulit dengan adanya awan. Hal ini disebabkan karena awan dan aerosol keduanya menghamburkan cahaya, oleh karena itu aerosol tidak dapat dengan mudah dideteksi oleh sensor satelit ketika aerosol-aerosol tersebut berada di dalam atau di dekat awan.

Salah satu cara untuk menduga keberadaan aerosol di dalam atau di dekat awan adalah dengan menggunakan polutan yang dapat diamati sebagai proksi untuk aerosol, dan Kim (2004) dan beberapa peneliti lainnya telah mengamati dan mencatat korelasi antara peningkatan aerosol dan tingginya nilai karbon monoksida (CO). Dengan menggunakan CO dari *Aura Microwave Limb Sounder (MLS)* sebagai proksi untuk aerosol di daerah yang berawan, Jiang dkk. (2008) menunjukkan bahwa untuk jumlah kadar air es (*Ice Water Content (IWC)*) yang sama, awan yang tercemar memiliki jari-jari efektif yang lebih kecil dan laju curah hujan yang lebih lemah

Dalam penelitian ini akan di tentukan pengelompokan daerah-daerah yang awannya terpolusi dan yang tidak terpolusi dengan menggunakan data CO sebagai proksi aerosol dalam hal ini *aerosol optical depth (AOD)*, di atas Indonesia.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Baik CO maupun aerosol dapat dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna seperti pembakaran biomasa, pembangkit listrik, atau kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar fosil.

Aerosol berperan sebagai inti kondensasi awan (*cloud condensation nuclei* (CCN)), kenaikan konsentrasi aerosol akan meningkatkan konsentrasi tetes awan yang kemudian akan mempengaruhi radius efektif tetes awan dan memodifikasi sifat-sifat awan. Pengaruhnya akan berbeda di dalam awan yang tidak terpolusi dan awan yang terpolusi.

Peranan aerosol tersebut dipertimbangkan sebagai komponen yang penting terutama untuk awan-awan rendah, dengan bertindak sebagai CCN dan jumlah aerosol menentukan konsentrasi awal tetes awan. Jumlah yang sama dari air awan didistribusi terhadap tetes-tetes yang lebih kecil dengan jumlah yang lebih banyak dalam udara terpolusi dan bermuatan CCN. Twomey (1977) menunjukkan bahwa dengan mekanisme seperti itu, maka aerosol akan meningkatkan albedo awan yaitu fraksi sinar matahari yang dipantulkan kembali ke angkasa, sehingga mendinginkan sistem iklim. Efek ini terbatas pada awan-awan rendah karena awan-awan konvektif pada umumnya memantulkan radiasi tanpa memandang ukuran tetesnya. Aerosol menginduksi droplet yang lebih kecil dan memperlambat terjadinya penggabungan menjadi tetes hujan, sehingga proses penipisan air awan menjadi lebih lambat (Albrecht, 1989). Berdasarkan hal tersebut, aerosol dinyatakan sebagai komponen yang dapat meningkatkan waktu tinggal awan dan area tutupan awan. Namun demikian efek ini hanya dipertimbangkan untuk awan-awan yang rendah karena awan-awan konvektif dianggap selalu terjadi presipitasi.

Penggunaan CO dari MLS sebagai proksi polusi aerosol untuk mengklasifikasikan awan es sebagai awan yang tidak terpolusi dan awan yang terpolusi. Validasi dari CO sebagai proksi aerosol di uji dengan menggunakan uji korelasi diantara CO dari MLS dan data AOD dari *Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) yang diinterpolasi kedalam lokasi pengukuran MLS. Karena pengambilan IWC dan CO dari

MLS dilakukan secara simultan, maka hal ini lebih memudahkan kita untuk menggunakan CO dalam mengklasifikasikan awan sebagai awan yang terpolusi dan awan yang tidak terpolusi (*polluted* dan *clean*) dibandingkan dengan menginterpolasi aerosol dari Aqua MODIS.

Beberapa alasan mengapa dipilih CO sebagai proksi aerosol karena :

- Aerosol tidak terdeteksi oleh satelit bila aerosol tersebut berada di dalam awan atau berada dekat awan, sementara CO dapat terdeteksi oleh sensor satelit.
- CO memiliki waktu tinggal yang lebih lama (~2 bulan) dibanding aerosol (yang waktu tinggalnya hanya sekitar seminggu (Jiang, 2008).
- Adanya korelasi positif antara CO dari MLS dan AOD di Moderat Resolusi Imaging Spectroradiometer (MODIS) selama musim kemarau (Juni-Oktober) di Amerika Selatan yang telah dibuktikan Jiang *et al.* (2007) dalam penelitiannya.

3 DATA DAN METODOLOGI

Dalam penelitian ini digunakan data AOD, CO dan IWC (*ice water content*). Untuk AOD yang digunakan adalah data harian yang diperoleh dari produk aerosol platform Aqua MODIS level 2 (MYD04), dengan resolusi data 10 km dan ketinggian 215 hPa. Sumber data AOD, <http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/>. Untuk CO dan IWC, data yang digunakan juga adalah data harian diperoleh dari *Aura Microwave Limb Sounder (MLS)* level 2 versi 3.3 pada ketinggian 215 hPa. Resolusi data untuk data CO adalah sebagai berikut resolusi horisontal 500 km dan vertikal 5 km, sementara untuk data IWC, dengan resolusi horisontal 300 km dan vertikal 4 km. Sumber data untuk CO dan IWC diperoleh dari NASA, http://mls.jpl.nasa.gov/products/iwc_product.php.

Ketiga format data tersebut dalam format HDF. Periode data yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah 8 tahun data (Juli 2004 – Desember 2011), dan lokasi yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah wilayah Indonesia (6° LU – 11°LS dan 95° BT – 141° BT).

Data AOD MODIS dan data CO, IWC dari MLS dipetakan

dengan merata-ratakan data pada grid 3° bujur dan $1,485^\circ$ lintang. Pemilihan ukuran grid didasarkan pada resolusi spasial MLS level 2.

Untuk analisis distribusi spasialnya digunakan data rata rata bulanan dari ketiga parameter tersebut untuk melihat tren variasi distribusinya selama periode data yang digunakan (8 tahun).

Ketentuan untuk menentukan daerah awan bersih dan terpolusi adalah daerah dengan konsentrasi awan yang tinggi, dalam penelitian ini digunakan data IWC dengan konsentrasi $> 2 \text{ mg/m}^3$. Selanjutnya ditentukan daerah awan bersih dan terpolusi sebagai berikut :

Daerah awan bersih \rightarrow CO < dengan IWC $> 2 \text{ mg/m}^3$
 Daerah awan terpolusi \rightarrow CO > dengan IWC $> 2 \text{ mg/m}^3$

Data dipilih pada ketinggian 215 hPa, karena selain pada ketinggian tersebut baik AOD, CO maupun IWC tersedia, hal penting lainnya adalah konsentrasi awan es (IWC) yang tertinggi pada umumnya ada pada ketinggian 215 hPa tersebut.

Dalam penentuan CO yang dapat dijadikan proksi aerosol dilakukan dengan cara melihat korelasi antara nilai beda AOD (\square) yaitu nilai selisih AOD pada daerah terpolusi dengan daerah bersih, terhadap konsentrasi CO. Besar kecilnya nilai beda tersebut menunjukkan besar kecilnya sensitivitas AOD terhadap CO, dan semakin besar sensitivitasnya maka semakin besar pula kemungkinan CO dapat dijadikan proksi aerosol.

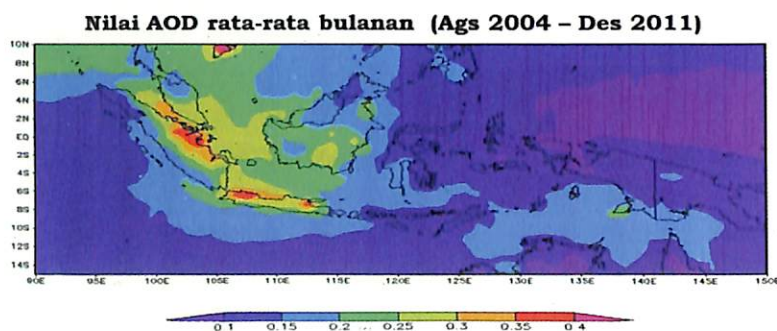
Untuk penentuan kriteria daerah awan yang bersih dan yang terpolusi berdasarkan konsentrasi CO, dibuat *scatterplot* (korelasi spasial) antara AOD terhadap CO pada kondisi berawan (IWC $> 2 \text{ mg/m}^3$), dan ditentukan area bersih dan terpolusi dengan membagi area hasil *scatterplot* tersebut kedalam 4 area. Nilai dalam setiap bagian area tersebut merupakan nilai statistik (kuartil).

Dalam mengidentifikasi daerah awan bersih dan terpolusi dilakukan dengan pemetaan spasial antara IWC dan CO. Untuk melihat perbedaan yang jelas antara daerah bersih dan terpolusi dilakukan normalisasi terhadap nilai IWC nya yaitu diskalakan menjadi $0 < \text{IWC} < 1$.

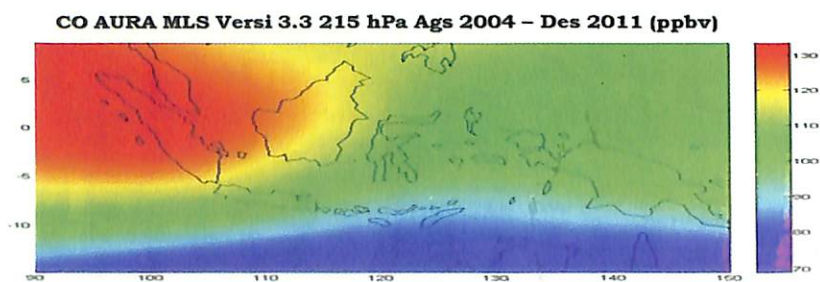
4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL

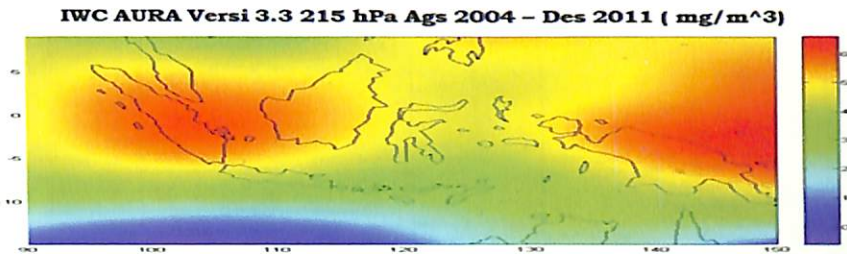
Dari hasil distribusi ketiga parameter AOD, CO dan IWC rata rata bulanan memperlihatkan distribusi yang cukup bervariasi secara spasial. Untuk distribusi AOD rata-rata bulan pada umumnya menunjukkan nilai tinggi dan rata-rata terjadi di daerah sebelah barat wilayah Indonesia yaitu di sekitar pulau Sumatera dan pulau Kalimantan serta pulau Jawa (**Gambar 4.1**). Nilai tertinggi AOD yang dicapai di wilayah ini adalah antara 0,35 – 0,4 (pada gambar diperlihatkan dengan warna merah). Pada **Gambar 4.2** untuk pola distribusi CO dan IWC rata-rata bulanan, memperlihatkan kecenderungan yang hampir sama dengan pola distribusi AOD, yaitu bahwa distribusi CO maupun IWC menunjukkan nilai yang tinggi yang rata-rata terjadi di sebelah Barat wilayah Indonesia.



Gambar 4.1 Distribusi spasial rata-rata bulanan dari Agustus 2004 s.d Desember 2011 untuk AOD pada level 215 hPa



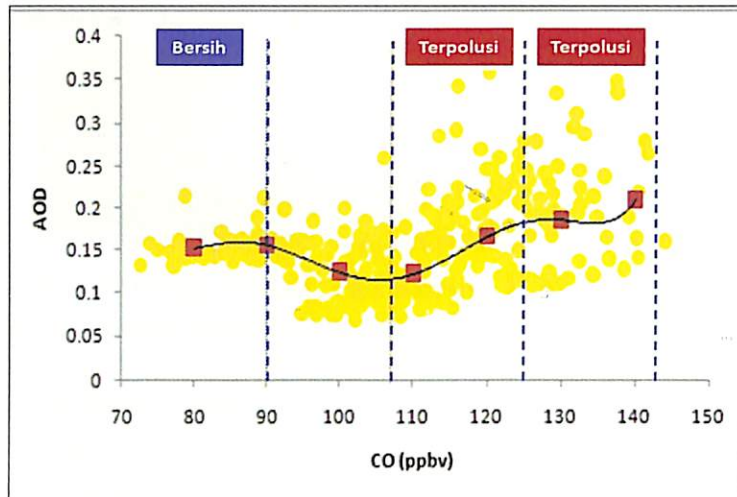
Gambar 4.2 Distribusi spasial rata-rata bulanan dari Agustus 2004 s.d Desember 2011 masing-masing untuk konsentrasi CO dari *Aura Microwave Limb Sounder (MLS)* pada level 215 hPa



Lanjutan Gambar 4.2 untuk IWC dari Aura Microwave Limb Sounder (MLS) pada level 215 hPa

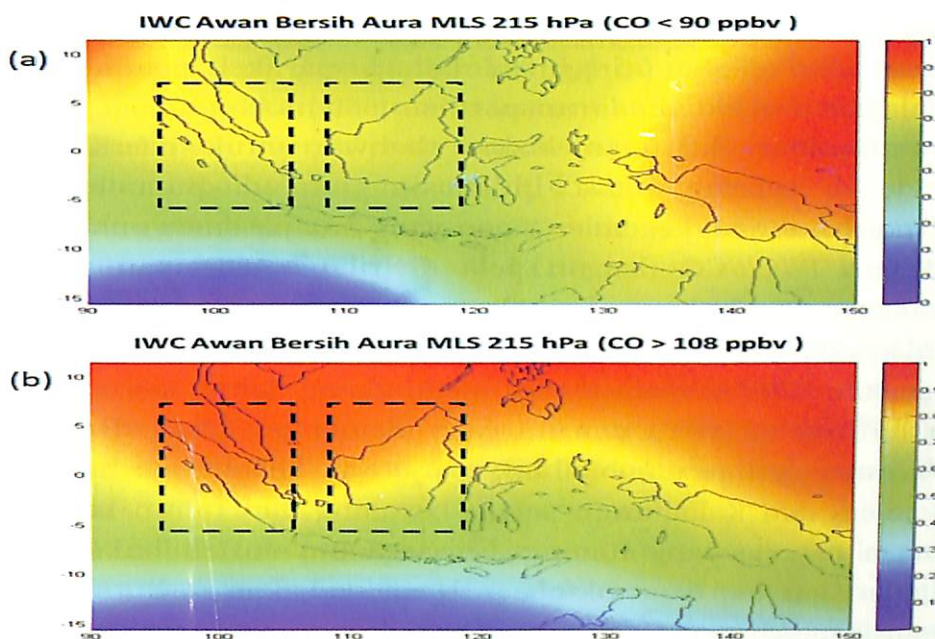
Perbedaan dengan pola distribusi rata-rata bulanan AOD, yaitu untuk pola distribusi rata-rata bulanan baik untuk CO maupun IWC keduanya tidak menunjukkan nilai yang tinggi di pulau Jawa. Pola distribusi ketiga parameter tersebut di wilayah Indonesia bagian Timur cukup berbeda satu sama lain. Nilai AOD di wilayah Indonesia bagian Timur cukup rendah dibandingkan dengan CO dan IWC. Dari pola distribusi IWC untuk wilayah Indonesia bagian Timur menunjukkan nilai yang kira-kira sama tingginya dengan nilai IWC yang terjadi di Indonesia bagian Barat.

Hasil korelasi antara nilai beda AOD (\square) dan konsentrasi CO yang dapat dijadikan proksi untuk aerosol diperlihatkan pada **Gambar 4.3**. Klasifikasi awan bersih dan awan terpolusi dengan membagi area kedalam 4 area yang masing-masing mempunyai nilai statistik (kuartil) yang berbeda. Dengan nilai maksimum konsentrasi CO = 143,8184ppbv, dan nilai minimum konsentrasi CO = 72,34969 ppbv, diperoleh area awan bersih kuartil 1 = 72 - 90; kuartil 2 = 90 - 108 (disebut sebagai area netral); untuk kuartil 3 dan 4 merupakan area awan terpolusi yang masing-masing mempunyai nilai statistik 108 - 125 dan 125 - 144.



Gambar 4.3 *Scatterplot* AOD-Aqua MODIS terhadap CO-MLS pada kondisi berawan ($IWC > 2$ mg).

Seperti yang di jelaskan di atas bahwa penentuan daerah yang awan nya terpolusi adalah daerah yang mempunyai nilai konsentrasi CO tinggi dan nilai IWC yang tinggi juga ($CO >$ dan $IWC >$), dan untuk daerah awan yang bersih adalah daerah dengan konsentrasi CO yang rendah dan nilai IWC nya tinggi ($CO <$ dan $IWC >$). **Gambar 4.4 (a)** dan **(b)** adalah hasil overlay dari kondisi konsentrasi CO dengan IWC (> 2 mg) yang masing-masing merupakan data rata-rata bulan dari Agustus 2004 sampai dengan Desember 2011 pada waktu yang bersamaan. **Gambar 4.4 (a)** adalah daerah awan bersih dengan konsentrasi CO < 90 ppbv, dan **Gambar (b)** adalah daerah awan terpolusi dengan CO > 108 ppbv.



Gambar 4.4 Hasil overlay data IWC yang lokasinya bersesuaian dengan konsentrasi CO < 90 ppbv untuk daerah awan bersih (a) dan yang bersesuaian dengan konsentrasi CO > 108 ppbv untuk daerah awan terpolusi (b)

4.2 PEMBAHASAN

Berdasarkan pola distribusi spasial untuk AOD, kecenderungan nilai yang tinggi di wilayah Indonesia bagian Barat yang meliputi Sumatera, Kalimantan dan pulau Jawa, ini menunjukkan tingginya aktivitas antropogenik yang terjadi di wilayah ini.

CO maupun aerosol merupakan produk dari pembakaran yang tidak sempurna seperti pembakaran biomasa atau kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar fosil. Aktivitas antropogenik di pulau Jawa sangat tinggi bila dibandingkan dengan daerah-daerah lain di Indonesia. Oleh karena itu dari pola distribusi keduanya antara CO dan AOD, pulau Jawa memperlihatkan pola distribusi yang berbeda. Distribusi konsentrasi CO di pulau Jawa relative lebih rendah dibandingkan dengan pola AOD. Tingginya nilai AOD menunjukkan

tingginya konsentrasi aerosol di pulau Jawa, yang diperkirakan berasal dari akibat tingginya bahan partikel polutan yang diemisikan dari aktivitas transportasi.

Gambar 4.2 menjelaskan bahwa untuk daerah yang berada di sebelah Barat Indonesia yaitu di Sumatera dan Kalimantan terjadi kecenderungan yang hampir sama antara pola distribusi IWC, CO dengan pola distribusi AOD, yaitu semua parameter tersebut menunjukkan nilai yang tinggi di area ini. Berdasarkan informasi bahwa baik di Sumatera maupun di Kalimantan ada sebuah tradisi pembukaan lahan pertanian di daerah tersebut yaitu dengan cara membakar lahan. Dari data kebakaran hutan atau lahan, peristiwa kebakaran hutan di Sumatera dan Kalimantan selalu berulang dari tahun ke tahun dengan perioda yang hampir bersamaan yaitu di bulan-bulan antara Agustus dan Oktober. Hasil kebakaran hutan yang diemisikan ke atmosfer berupa partikel-partikel aerosol termasuk diantaranya karbon monoksida, CO. Oleh karena itu tingginya konsentrasi CO dan tingginya nilai AOD di Sumatera dan Kalimantan lebih di akibatkan berasal dari emisi hasil kebakaran hutan.

Korelasi antara CO dan nilai beda (δ) AOD digunakan untuk menentukan kriteria sensitivitas aerosol terhadap CO pada saat kondisi awan terpolusi dan kondisi awan bersih. Kategori sensitivitas yang menunjukkan sensitivitas tinggi adalah pada saat kemiringan grafik antara δ AOD terhadap CO sangat besar atau dengan kata lain δ AOD meningkat tajam ($\delta > 0.2$) terhadap nilai konsentrasi CO tinggi. Hasil dari korelasi antara CO dan δ AOD untuk total data rata-rata wilayah Indonesia menunjukkan nilai korelasi yang agak rendah, pada gambar ditunjukkan dengan rata-rata δ AOD berada pada nilai $\delta < 0.1$. (sensitivitas rendah). Korelasi yang menunjukkan sensitivitas yang rendah seperti itu sulit untuk menunjukkan perbedaan daerah awan yang bersih dan awan yang terpolusi, karena kemiringan grafik tidak memberikan nilai perbedaan yang tajam. Kemiringan grafik cenderung landai.

Dengan menggunakan batasan grafik klasifikasi daerah awan bersih dan terpolusi seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 4.3**, kita overlaykan data CO terhadap nilai IWC. Kemudian dipilih daerah kajian yang mempunyai nilai IWC > 2

mg/m³ dengan cara “*cropping*” data yakni membuat batasan daerah kajian seperti pada **Gambar 4.4 (a)** dan **(b)** yang masing-masing menunjukkan daerah awan bersih dan terpolusi.

Perkiraan daerah yang masuk dalam kriteria daerah awan bersih dan terpolusi yang memenuhi kriteria :

Daerah awan bersih → CO < dengan IWC > 2 mg/m³

Daerah awan terpolusi → CO > dengan IWC > 2 mg/m³

yaitu wilayah Sumatera dan Kalimantan, pada gambar daerah yang di tandai dengan kotak garis-garis hitam. **Gambar 4.4 (a)** daerah awan bersih dengan rata-rata konsentrasi CO < 90 ppbv, sementara pada gambar (b) daerah awan terpolusi dengan rata-rata konsentrasi CO > 108 ppbv, dan keduanya dengan nilai IWC > 2 mg/m³.

Penelitian ini merupakan bagian (tahap awal) dari kegiatan penelitian yang menganalisis pengaruh aerosol (polutan) terhadap kondisi awan. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, maka dalam hal ini masih diperlukan penelitian dan analisis yang lebih mendalam dengan mempertimbangkan beberapa parameter lain seperti jari jari efektif awan es (r_e), presipitasi, arah dan kecepatan angin, untuk mendapatkan hasil analisis yang maksimal dalam menentukan pengaruh polutan pada kondisi awan.

Selain itu, pemilihan lokasi penelitian juga perlu difokuskan pada daerah yang diperkirakan sering terjadi kebakaran hutan atau kebakaran lahan. Oleh karena itu dalam mengidentifikasi daerah awan terpolusi dan awan bersih perlu di pertimbangkan data emisi hasil kebakaran hutan atau kebakaran lahan (“*burning emission*”).

5 KESIMPULAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data total rata-rata untuk wilayah Indonesia. Pola distribusi aerosol (AOD) dan CO memperlihatkan pola distribusi dari total data wilayah Indonesia, yang terdeteksi pada level 215 hPa.

Hasil dari korelasi antara CO dan nilai beda (δ) AOD yang menggunakan data total data rata-rata wilayah Indonesia, menunjukkan nilai korelasi yang rendah, rata-rata δ AOD berada pada nilai $\delta < 0,1$. (sensitivitas rendah). Korelasi dengan sensitivitas rendah dengan kemiringan grafik yang cenderung

landai yang sulit untuk menunjukkan perbedaan yang jelas antara daerah awan yang bersih dan awan yang terpolusi.

Hasil korelasi antara CO dan nilai beda (δ) AOD dengan menggunakan data hasil "cropping" wilayah Sumatera dan Kalimantan, masing masing menunjukkan nilai sensitivitas diantara nilai $0.1 < \delta < 0.2$ yang masuk dalam kategori sensitivitas moderate. Nilai sensitivitas ini masih dapat digunakan untuk menganalisis daerah awan bersih dan terpolusi.

Dari hasil overlay data CO dan IWC dan menggunakan batasan grafik klasifikasi daerah awan bersih dan terpolusi, maka diperkirakan daerah yang masuk dalam kriteria daerah awan bersih dan terpolusi dan sesuai dengan kriteria tersebut adalah wilayah Sumatera dan Kalimantan. Hasil analisis untuk kedua wilayah tersebut menunjukkan bahwa untuk daerah awan bersih rata-rata konsentrasi CO < 90 ppbv, dan daerah awan terpolusi dengan rata-rata konsentrasi CO > 108 ppbv, dan keduanya dengan nilai IWC > 2 mg/m³.

DAFTAR RUJUKAN

- Albrecht, B.A., (1989): Aerosols, Cloud Microphysics, and Fractional Cloudiness. *Science*, Vol. **245**.
- Denman, K. L., and Brasseur, G., (2007): Couplings between changes in the climate system biogeochemistry, in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by S. Solomon *et al.*, chap. 7, pp. 499–588, Cambridge Univ. Press, New York.
- Brasseur, G.P., Schultz, M., Granier, C., Saunio, M., Diehl, T., Botzet, M., Roeckner, E., (2006): Impact of Climate Change on the Future Chemical Composition of the Global Troposphere, *Journal of Climate—Special Section*, Vol. **19**, 3932-3951.
- Isaksen I.S.A., Granier, C., Myhre, G., Berntsen, T.K., Dalsøren, S.B., Gauss, M., Klimont, Z., Benestad, R., Bousquet, P., Collins, W. Cox, T., Eyring, V., Fowler, D., Fuzzi, S., Jońckel, P., Laj, P., Lohmann, U., Maione, M., Monks, P. Prevo, A.S.H. Raes, F., Richter, A., Rognerud, B., Schulz, M., Shindell, D., Stevenson, D.S., Storelvmo, T., Wild, M.,

- Wuebbles, D., (2009): Atmospheric composition change: Climate–Chemistry interactions, *Atmospheric Environment* **43**, 5138–5192 doi:10.1016/j.atmosenv.2009.08.003
- Jiang, J. H., N. J. Livesey, H. Su, L. Neary, J. C. McConnell, and N. A. D. Richards, (2007): Connecting surface emissions, convective uplifting, and long-range transport of carbon monoxide in the upper troposphere: New observations from the Aura Microwave Limb Sounder, *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L18812, doi: 10.1029/2007GL030638.
- Jiang, J. H., H. Su, M. Schoeberl, S. T. Massie, P. Colarco, S. Platnick, and N. Livesey, (2008): Clean and polluted clouds: Relationships among pollution, ice clouds, and precipitation in South America, *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L14804, doi:10.1029/2008GL034631.
- Kim, J., Sung H. Choi ; Hi Ku Cho ; Sang H. Lee ; David P. Edwards ; Hee C. Lee ; Hyo S. Lim ; Gi H. Choi, (2004): Aerosol and CO loading in the atmosphere observed by the MODIS and MOPITT: Russian forest fire case, *Proc. SPIE*, 5652, 263– 269, doi:10.1117/12.578903
- Lohmann, U., and Feichter, J., (2005): Global indirect aerosol effects: a review, *Atmos. Chem. Phys.*, **5**, 715–737.
- NASA, Atmospheric Composition, (2010): <http://science.nasa.gov/earth-science/focus-areas/atmospheric-composition/>
- NASA, Microwave Limb Sounder, cloud ice product, (2010): http://mls.jpl.nasa.gov/products/iwc_product.php
- Prabir K. Patra, Kentaro Ishijima, Takashi Maki, Shamil Maksyutov, Masayuki Takigawa, Hajime Akimoto, (2007): *Atmospheric Composition Change and its Climate Effect Studied by Chemical Transport Models*, Frontier Research Center for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Chapter 1 Earth Science, Annual Report of the Earth Simulator Center March 2007
- Twomey, S. (1977): *Atmospheric Aerosols*, 302 pp., Elsevier Sci., Amsterdam.