

ESTIMASI KONSENTRASI SO₂ AMBIEN DENGAN AEROSOL OPTICAL DEPTH (AOD)

Asri Indrawati, Dyah Aries Tanti, Sumaryati, dan Tuti Budiwati

LAPAN, Jl Dr Djundjuran No. 133 Pasteur –Bandung 40173

Pos-el: asriku@gmail.com

Abstract

Increasing of SO₂ concentrations in the atmosphere will affect the environment and human health , such as impaired lung function , respiratory system and even cause death . Aerosol Optical Depth (AOD) is one that can be used to estimate the ambient SO₂ concentration . The few studies have used AOD as a predictor of ambient SO₂ concentration . Based on the trend plot between SO₂ concentration and AOD values from 2012-2013 , when the concentration value of SO₂ increased, the AOD value also increased , but there are also some patterns that suggest the opposite relationship . By using Pearson Product Moment between SO₂ concentration and AOD values give a positive correlation with a correlation coefficient 0.575. From correlation test using 95 % of confidence level, shows that the relationship SO₂ concentration values correlated significantly with AOD values ($r^2 = 0.33$)

Keywords : environment, human health, SO₂ concentration, AOD, correlation.

Abstrak

Peningkatan konsentrasi SO₂ di atmosfer akan berpengaruh terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, seperti gangguan fungsi paru-paru, sistem pernafasan bahkan menyebabkan kematian. *Aerosol Optical Depth* (AOD) merupakan salah satu yang dapat digunakan untuk mengestimasi konsentrasi SO₂ ambien. Beberapa studi telah menggunakan AOD sebagai prediktor SO₂. Berdasarkan plot tren antara konsentrasi gas SO₂ dengan nilai AOD dari tahun 2012 – 2013, ketika nilai AOD naik, maka nilai konsentrasi SO₂ juga mengalami kenaikan, namun terdapat juga beberapa pola yang memperlihatkan hubungan yang sebaliknya. Dengan menggunakan *Product Moment Pearson* antara konsentrasi SO₂ dengan nilai AOD memberikan nilai korelasi positif dengan koefisien korelasi sebesar 0,575. Dari uji korelasi dengan nilai kepercayaan 95%, diperoleh bahwa hubungan nilai konsentrasi SO₂ berkorelasi cukup signifikan dengan nilai AOD ($r^2 = 0,33$).

Kata Kunci : lingkungan, kesehatan manusia, konsentrasi SO₂, AOD, korelasi

1. PENDAHULUAN

Sulfur Dioksida (SO₂) yang ada di atmosfer merupakan polutan udara yang memiliki dampak yang merugikan terhadap lingkungan. Sebagian besar SO₂ berasal dari sumber antropogenik (hampir 90% dari SO₂ yang ada di atmosfer berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, industri peleburan atau pembakaran biomassa) dan sebagian kecilnya berasal dari sumber alami (kurang dari 10% berasal dari gunung berapi dan hanya beberapa persen dari oksidasi komponen sulfat lainnya, seperti dimetil sulfat (DMS) atau karbonil sulfide (OCS)).¹ Di atmosfer, SO₂ dapat membentuk partikel-partikel sulfat yang amat halus melalui proses konversi gas ke partikel.²

Di Indonesia, SO₂ merupakan salah satu dari lima parameter Indeks Standar Pencemar Udara selain partikulat (PM₁₀), CO, O₃ dan NO₂. Dengan kata lain, besar kecilnya konsentrasi SO₂ di udara ambien sangat berpengaruh terhadap kualitas udara. Menurut Undang-undang Nomor 41

Tahun 1999, nilai baku mutu SO₂ di udara ambien adalah sebesar 60 µg/Nm³ untuk waktu pengukuran 1 tahun. Pemantauan dan penelitian mengenai konsentrasi SO₂ di udara ambien di Indonesia telah banyak dilakukan. Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan oleh Budiwati³, bahwa konsentrasi SO₂ di daerah perkotaan (urban) Cekungan Bandung lebih tinggi bila dibandingkan dengan daerah di luar perkotaan Cekungan Bandung (suburban), hal ini diakibatkan oleh padatnya arus transportasi pada daerah perkotaan dengan kisaran konsentrasi antara 3,8 ppbv – 4,3 ppbv atau 9,95 µg/m³ - 11,26 µg/m³.

Peningkatan konsentrasi SO₂ di atmosfer akan berpengaruh terhadap kesehatan manusia, seperti gangguan fungsi paru-paru, sistem pernafasan bahkan menyebabkan kematian.⁴ Mekanisme pembersihan SO₂ di atmosfer pada peristiwa deposisi kering akan memberikan efek pengasaman secara lokal, kemudian bila SO₂ terkonversi menjadi aerosol sulfat akan berdampak pada radiasi matahari (memberikan efek *radiative forcing* baik langsung maupun tidak langsung) dan efek hidrologi bagi lingkungan. Melihat dampak mendalam terhadap lingkungan yang diakibatkan oleh polutan SO₂ maka pemantauan SO₂ secara kontinyu perlu dilakukan.

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, terdapat beberapa metode untuk memperkirakan konsentrasi polutan di udara ambien yang dilakukan dengan menggunakan pendekatan statistik, baik menggunakan metode regresi maupun hubungan lainnya.⁵ Salah satunya adalah dengan menggunakan data satelit ataupun *remote sensing*.⁶ *Aerosol Optical Depth* (AOD) merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengestimasi konsentrasi SO₂ ambien melalui proses hamburan. Proses hamburan merupakan hasil dari energi spektral yang berinteraksi dengan partikulat atau SO₂ yang tersuspensi di lapisan atmosfer. Jumlah energi spektral atmosfer tergantung pada konsentrasi partikulat atau SO₂, oleh karena itu energi penghamburan (*scattered energy*) dapat digunakan untuk memperkirakan partikulat atau SO₂.⁶

Tujuan dalam penelitian ini adalah studi awal untuk mengestimasi konsentrasi SO₂ dengan menggunakan persamaan yang akan dihasilkan dari hubungan antara nilai konsentrasi SO₂ dengan nilai AOD tanpa memperhitungkan faktor meteorologi dan faktor koreksi lainnya. Dengan studi awal estimasi konsentrasi SO₂ dengan menggunakan nilai AOD, diharapkan adanya penelitian lebih lanjut agar pemantauan polutan SO₂ dapat dilakukan secara kontinyu dengan memanfaatkan data AOD.

2. METODE PENELITIAN

Data *Aerosol Optical Depth* (AOD) berasal dari data AERONET level 2.0 berupa data rata-rata bulanan dari Januari 2012 - Desember 2013 untuk lokasi Cekungan Bandung yang bisa di unduh pada situs <http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>. Pengukuran nilai AOD dilakukan dengan menggunakan CIMEL *sunphotometer*. Data yang tersedia di situs AERONET ada dalam data perjam sampai dengan rata-rata tahunan, baik dari level 1.0, level 1.5 dan level 2.0. Pengambilan data rata-rata bulanan disesuaikan dengan data pengukuran SO₂ ambien yang tersedia dalam bentuk rata-rata bulanan. Data level 2.0 merupakan data yang telah dilakukan pengolahan kualitas data dan kalibrasi lebih lanjut dari data *real time* (level 1.0), kalibrasi data ini dilakukan oleh pihak NASA dan tersedia dalam situs AERONET.

Pengukuran SO₂ ambien dilakukan dengan metode *passive sampler*. Prinsipnya adalah mengikat gas dengan larutan kimia (larutan penyerap gas) dalam media filter tanpa dipacu oleh alat penggerak (pompa). Secara alami udara akan melewati filter dan akan bereaksi dengan larutan penyerap yang terdapat dalam filter. Selanjutnya filter akan diekstrak dan dianalisa di laboratorium dengan menggunakan Kromatografi Ion. Sampling SO₂ dilakukan selama satu bulan, sehingga data yang diperoleh merupakan data bulanan SO₂. Data SO₂ yang digunakan yaitu Januari 2012 -

Desember 2013 untuk Cekungan Bandung. Sampling SO₂ dengan AOD tidak dilakukan bersamaan.

Analisis yang dilakukan dengan menggunakan analisis regresi untuk melihat korelasi antara data konsentrasi gas SO₂ ambien dengan data AOD. Korelasi dilakukan berdasarkan ketersediaan data yang ada baik untuk konsentrasi gas SO₂ maupun nilai AOD. Dari korelasi tersebut akan diperoleh persamaan yang nantinya akan digunakan untuk mengestimasi konsentrasi SO₂ dengan nilai AOD. Analisis korelasi yang digunakan yaitu dengan menggunakan pengolahan statistika *Product Moment Pearson*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

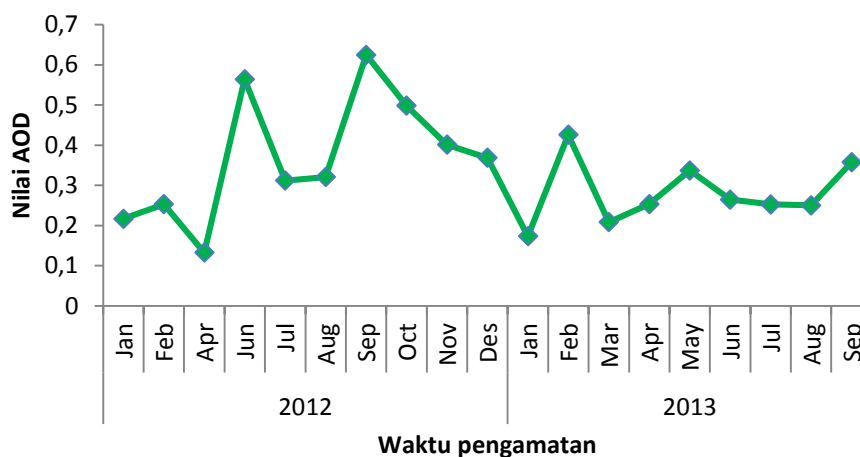
Proses hamburan merupakan hasil dari energi spektral yang berinteraksi dengan partikulat atau SO₂ yang tersuspensi di lapisan atmosfer. Jumlah energi spektral atmosfer tergantung pada konsentrasi partikulat atau SO₂, oleh karena itu energi penghamburan (*scattered energy*) dapat digunakan untuk memperkirakan partikulat atau SO₂.⁶ *Aerosol Optical Depth* merupakan ukuran sejauh mana aerosol dapat menyerap atau menghamburkan radiasi matahari yang didistribusikan dalam kolom udara dari permukaan bumi ke bagian atas atmosfer.⁷ Oleh karena itu, AOD dapat juga digunakan sebagai prediktor partikulat atau SO₂. Kemudian, dalam penelitian Lu⁸, hasil dari GEOS-cham model, memperlihatkan bahwa sulfur berkontribusi sebanyak 56% dari total AOD di Cina.

3.1 Data Aerosol Optical Depth AERONET Level 2.0

Data *Aerosol Optical Depth* yang digunakan merupakan data level 2.0. Data level 2.0 ini merupakan data yang telah melawati proses kalibrasi yang dilakukan oleh NASA. Data AOD ini menggunakan data pada panjang gelombang 500 nm. Panjang gelombang 500 nm dipilih karena radiasi matahari paling banyak diradiasikan pada panjang gelombang di daerah tampak (sekitar 500 nm),⁷ sehingga untuk melihat efek dari hamburan sinar matahari karena keberadaan aerosol di atmosfer sangat tepat bila menggunakan panjang gelombang 500 nm.

Berdasarkan gambar 1, terlihat bahwa nilai AOD mengalami fluktuasi dimana nilai AOD pada tahun 2012 lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai AOD pada tahun 2013. Bulan September tahun 2012 nilai AOD mencapai 0,624 sedangkan nilai terendah pada bulan April tahun 2012 sebesar 0,133. Rata-rata nilai AOD tahun 2012 – 2013 adalah 0,327. Tingginya nilai AOD pada bulan September tahun 2012 karena pada bulan tersebut merupakan puncak terjadinya kemarau di Pulau Jawa⁹, diduga kondisi tersebut berpengaruh terhadap keberadaan jumlah aerosol di atmosfer Cekungan Bandung. Hal tersebut juga terlihat berdasarkan data curah hujan, dimana pada bulan September 2012 curah hujan di Cekungan Bandung lebih rendah bila dibandingkan bulan September 2013.⁷

Pada musim penghujan kecendrungan AOD mempunyai nilai lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai AOD pada musim kemarau. Karena pada saat musim penghujan terjadi proses pembersihan aerosol di atmosfer yang dilakukan oleh hujan. Sedangkan pada musim kemarau, proses pencucian atmosfer sangat jarang terjadi yang mengakibatkan terakumulasinya aerosol di atmosfer.



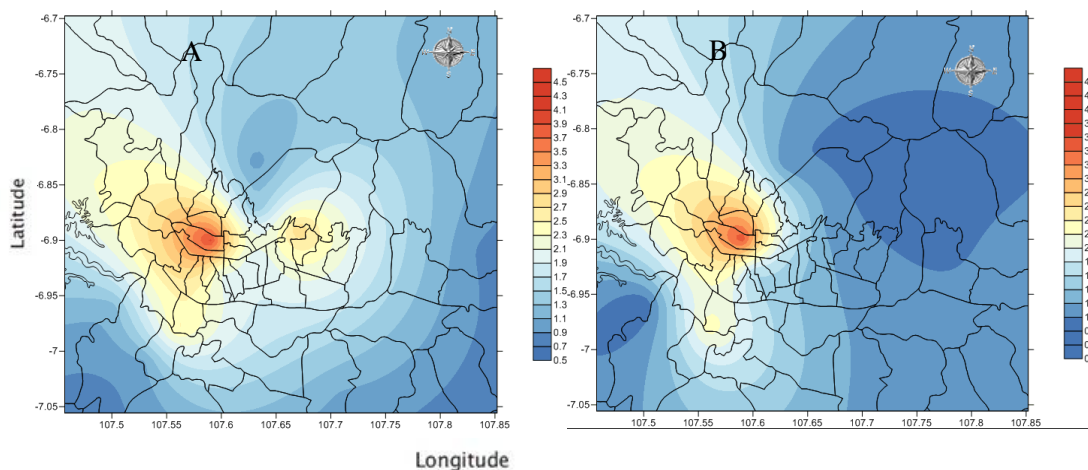
Gambar 1. Nilai *Aerosol Optical Depth* Cekungan Bandung tahun 2012 - 2013

Besar kecilnya nilai AOD sangat dipengaruhi oleh banyak sedikitnya jumlah aerosol yang ada di atmosfer. Nilai AOD secara tidak langsung menggambarkan interaksi antara aerosol yang terdapat di atmosfer dengan radiasi sinar matahari yang menuju permukaan bumi. Semakin besar nilai AOD menandakan semakin besar konsentrasi aerosol di atmosfer, sehingga mengakibatkan semakin banyak juga interaksi antara aerosol dengan radiasi sinar matahari. Pengukuran aerosol di atmosfer dengan menggunakan *sun photometer* sangat tergantung dengan keberadaan matahari, sehingga nilai-nilai pengukuran mempunyai karakteristik masing-masing berdasarkan waktu, baik jam, harian, bulanan maupun musiman.⁷

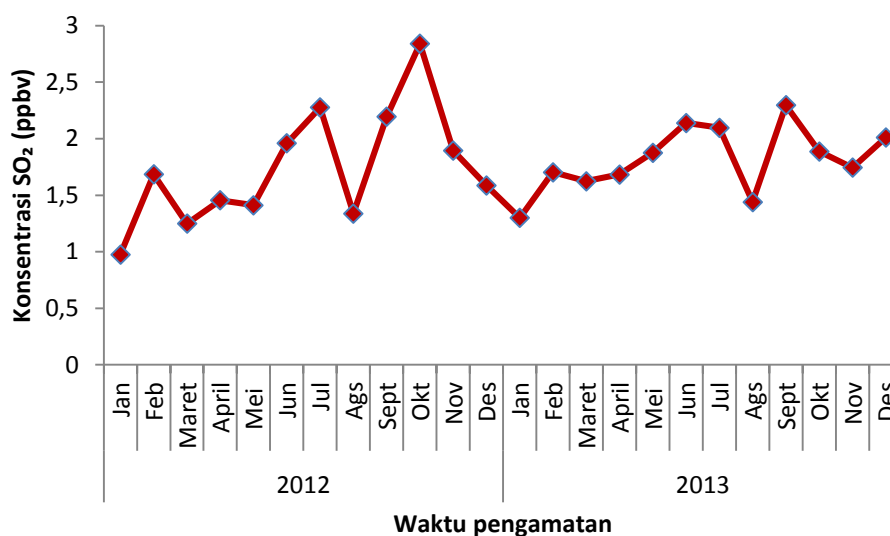
3.2 Data Pengukuran SO₂

Berdasarkan data pemantauan deposisi kering gas SO₂ di Cekungan Bandung yang dilakukan oleh LAPAN dari tahun 2012 – 2013 pada gambar 2 rata-rata untuk satu tahun terlihat bahwa konsentrasi polutan gas SO₂ untuk daerah perkotaan di Cekungan Bandung dari tahun 2012 – 2013 berada dalam konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya, yaitu dalam rentang 4,5 ppbv. Sedangkan untuk daerah Cekungan Bandung di sebelah Barat – Barat Laut mengalami penurunan konsentrasi bila di bandingkan dengan konsentrasi gas SO₂ tahun 2013. Penurunan konsentrasi gas SO₂ diduga gas SO₂ bereaksi dengan gas NH₃ membentuk aerosol sulfat yang merupakan konstituen penting pada partikulat udara terutama PM_{2.5}.¹⁰

Melihat tingginya konsentrasi polutan gas SO₂ di daerah Cekungan Bandung, maka estimasi konsentrasi gas SO₂ dengan nilai AOD dilakukan dengan menggunakan data rata-rata bulanan untuk lokasi pemantauan gas SO₂ di Cekungan Bandung. Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa konsentrasi SO₂ berfluktuasi setiap bulannya, dengan nilai konsentrasi tertinggi pada bulan Oktober 2012 sebesar 2,8 ppbv dan terendah pada bulan Januari 2012 sebesar 0,9 ppbv. Pada tahun 2013, puncak konsentrasi SO₂ tertinggi juga terjadi pada bulan September, namun konsentrasinya lebih rendah bila dibandingkan pada bulan yang sama tahun 2012.



Gambar 2. Konsentrasi gas SO₂ rata-rata tahunan di Cekungan Bandung (A) tahun 2012; (B) Tahun 2013



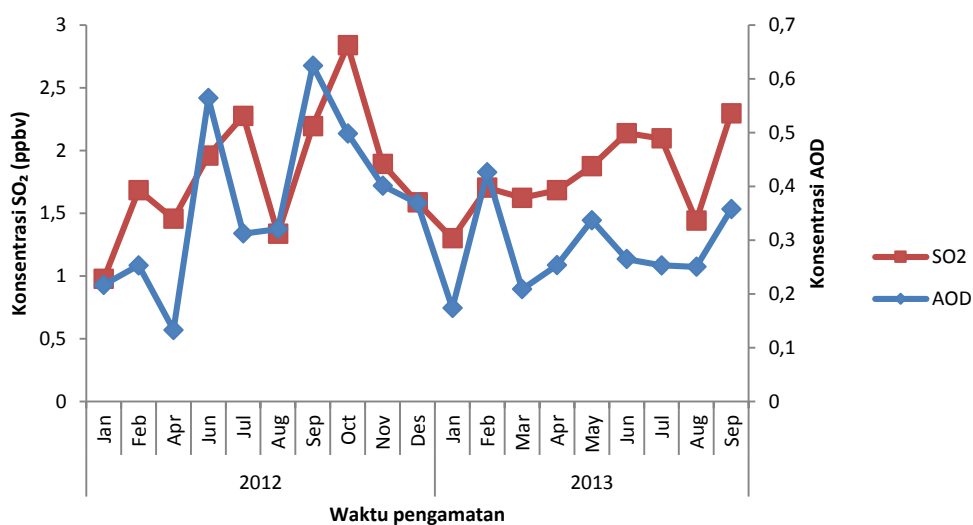
Gambar 3. Konsentrasi rata-rata ambien gas SO₂ di Cekungan Bandung tahun 2012 – 2013.

Sulfur oksida (SO₂) yang ada di atmosfer dipancarkan baik dari sumber antropogenik maupun sumber alami. Selain memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia, SO₂ dan produk atmosfer dari SO₂ (misalnya, sulfat, asam sulfat) dapat mempengaruhi lingkungan atmosfer dari lokal ke skala regional dan global (misalnya deposisi asam, *radiative forcing* baik yang langsung maupun tidak). Diperkirakan bahwa emisi global SO₂ lebih dari 70% berasal dari sumber antropogenik, dimana setengahnya berasal dari pembakaran bahan bakar fosil.⁸ Peningkatan arus transportasi dan industri di Cekungan Bandung dan mulai meluas sampai daerah pinggiran Cekungan Bandung memberikan kontribusi terhadap peningkatan konsentrasi gas SO₂ di udara ambien Cekungan Bandung. Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan oleh Budiwati,³ bahwa konsentrasi SO₂ di daerah perkotaan (urban) Cekungan Bandung lebih tinggi bila dibandingkan dengan daerah di luar perkotaan Cekungan Bandung (sub urban), hal ini diakibatkan oleh padatnya arus transportasi pada daerah perkotaan dengan kisaran konsentrasi antara 3,8 ppbv – 4,3 ppbv atau 9,95 µg/m³ - 11,26 µg/m³.

3.3 AOD dan Konsentrasi SO₂ ambien

Bila dilihat berdasarkan plot tren antara konsentrasi gas SO₂ dengan nilai AOD dari tahun 2012 - 2013, pada gambar 4 beberapa data menunjukkan pola yang sama, ketika nilai konsentrasi gas SO₂ naik, nilai AOD juga mengalami kenaikan, namun terdapat juga beberapa pola yang memperlihatkan hubungan yang sebaliknya. Beberapa faktor mempengaruhi hubungan antara konsentrasi SO₂ ambien dan AOD seperti kecepatan deposisi (*deposition velocity*) dan umur SO₂ di atmosfer, dimana untuk SO₂ kecepatan deposisi umumnya 0,4 cm/s atau lebih lambat dari itu sehingga membuat umur SO₂ di atmosfer sekitar 3 hari untuk 1.000 m dalam *planetary boundary layer*.¹¹ Kecepatan deposisi untuk SO₂ sangat berpengaruh terhadap nilai konsentrasi SO₂ ambien, karena sampling untuk SO₂ ambien menggunakan metode *passive sampling*, dimana dalam perhitungan konsentrasinya faktor kecepatan deposisi dimasukkan ke dalam perhitungannya.²

Faktor meteorologi juga sangat berpengaruh terhadap pengukuran nilai AOD, karena faktor meteorologi mempengaruhi karakteristik spasial – temporal aerosol dalam suatu wilayah.⁷ Tingginya nilai kelembaban relatif atmosfer menyebabkan pertumbuhan higroskopik dari aerosol ambien, yang akan menyebabkan perubahan dari komposisi kimia, distribusi ukuran dan sifat optik lainnya. Selain itu, dinamika atmosfer, kimia atmosfer serta ketinggian *boundary layer* juga mempunyai peranan yang penting dalam hubungan antara konsentrasi SO₂ dan AOD.



Gambar 4. Plot tren antara nilai konsentrasi SO₂ dan nilai AOD Tahun 2012 – 2013

Pada Gambar 4, dalam bulan-bulan basah, yaitu bulan Januari, November dan Desember, terlihat memiliki pola yang hampir berhimpit dibandingkan dengan bulan-bulan kering seperti Juni, Juli dan Agustus. Hal ini diduga karena pada bulan-bulan kering lebih banyak aerosol selain dari SO₂, seperti pembakaran biomassa dan debu tanah. Karena proses pencucian atmosfer jarang terjadi, maka akumulasi aerosol dari sumber-sumber lain selain SO₂ terjadi di atmosfer. Sehingga selain kelembaban, kajian mengenai curah hujan terhadap hubungan antara konsentrasi SO₂ dan AOD juga perlu dilakukan.

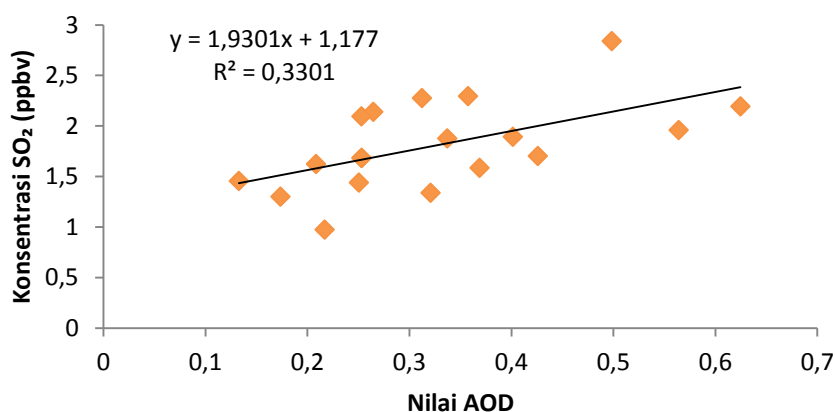
Secara statistika korelasi dengan menggunakan *Product Moment Pearson* antara konsentrasi SO₂ dengan nilai AOD memberikan nilai korelasi positif dengan koefisien korelasi

sebesar 0,575. Nilai koefisien korelasi sebesar 0,575 menandakan bahwa konsentrasi SO₂ berkorelasi cukup baik dengan nilai AOD. Karena dalam statistika terdapat 3 rentang nilai koefisien korelasi, dimana 0 – 0,3 berkorelasi lemah, 0,3 – 0,7 berkorelasi cukup kuat, dan 0,7 – 1,0 berkorelasi kuat.¹² Korelasi positif mengindikasikan bahwa konsentrasi SO₂ ambien dan nilai AOD memiliki tren yang sama, bila nilai AOD tinggi/rendah, maka nilai konsentrasi SO₂ akan tinggi/rendah juga.

Untuk melihat kuat tidaknya hubungan antara konsentrasi SO₂ dengan nilai AOD dilakukan uji korelasi dengan menggunakan model regresi. Dari uji korelasi dengan nilai kepercayaan 95%, diperoleh bahwa hubungan nilai konsentrasi SO₂ berkorelasi cukup signifikan dengan nilai AOD ($r^2 = 0,33$). Sehingga estimasi konsentrasi SO₂ ambien dengan nilai AOD dapat dilakukan, karena mempunyai korelasi yang cukup kuat dan signifikan. Persamaan yang diperoleh dari uji korelasi antara nilai konsentrasi SO₂ dengan nilai AOD adalah sebagai berikut :

$$[\text{SO}_2] = 1,930 \times \text{AOD} + 1,177 \quad r^2 = 0,33$$

Persamaan yang diperoleh dapat digunakan untuk perhitungan estimasi konsentrasi SO₂ ambient dengan nilai AOD. Namun dalam persamaan ini belum dimasukkan faktor-faktor koreksi seperti faktor meteorologi dan lainnya.



Gambar 5. Model korelasi antara konsentrasi SO₂ dengan nilai AOD

Penelitian yang dilakukan oleh Meijj¹³, mengenai estimasi emisi SO₂ dan AOD, digunakan data AOD yang diperoleh dari MODIS, MISR dan AERONET. Untuk kawasan Asia Timur, untuk daerah Xianghe dengan menggunakan data AOD dari AERONET, diperoleh hubungan yang positif dengan slope yang diperoleh yaitu 0,03 AOD. Techarat⁶, juga melakukan estimasi SO₂ dengan menggunakan data AOD, dimana data AOD yang diperoleh dari data LANDSAT. Dalam penelitiannya, untuk mendapatkan nilai koefisien korelasi yang sempurna, hukum fisika, yaitu hukum konservasi energi dimasukkan ke dalam perhitungan faktor koreksi, karena kelemahan dari estimasi konsentrasi SO₂ dengan menggunakan nilai AOD adalah tidak memiliki dasar fisik untuk membandingkan AOD dengan SO₂. Energi yang hilang pada lapisan atmosfer karena proses penghamburan digunakan sebagai prediksi dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan koreksi atmosfer (*atmospheric correction*), sehingga hasil persamaan estimasi yang diperoleh lebih akurat.

Pengamatan atmosfer dengan menggunakan penginderaan jauh, membutuhkan koreksi atmosfer untuk mendapatkan data pengamatan yang valid. Koreksi atmosfer dilakukan untuk

menghilangkan gangguan (*noises*) yang disebabkan oleh proses penghamburan pada lapisan atmosfer. Persamaan koreksi atmosfer ($L_{p,k}$), memperhitungkan radiasi yang diterima sensor pada panjang gelombang tertentu ($L_{s,k}$), reflektansi permukaan pada panjang gelombang tertentu (ρ_k) jumlah radiasi matahari yang sampai di bagian atas atmosfer ($E_{0,k}$), faktor koreksi jarak matahari – bumi (D) dan sudut zenith matahari (θ_i).^{6,7}

$$L_{p,k} = L_{s,k} - \frac{\rho_k E_{0,k} [\cos(\theta_i)]^2}{\pi D}$$

Bila dilihat berdasarkan koefisien korelasi yang diperoleh dari konsentrasi SO_2 dan nilai AOD dalam penelitian ini, terlihat bahwa masih diperlukannya kajian mengenai faktor-faktor koreksi seperti faktor meteorologi dan kecepatan deposisi yang dimasukkan dalam persamaan juga memperhitungkan koreksi atmosfer untuk menghasilkan korelasi yang lebih baik dan persamaan estimasi yang lebih akurat. Selain itu, waktu sampling yang bersamaan (*co-located sampling*) serta data dengan *time series* yang panjang, seperti data per jam atau harian dibutuhkan untuk melihat korelasi pada tiap musimnya, baik musim penghujan dan musim kemarau, sehingga estimasi konsentrasi SO_2 untuk tiap-tiap musim dapat dilakukan.

4. KESIMPULAN

Hubungan antara nilai konsentrasi SO_2 dan nilai AOD memberikan korelasi positif dan signifikan yang artinya bila nilai AOD tinggi/rendah maka nilai konsentrasi SO_2 akan tinggi/rendah juga. Nilai koefisien korelasi yang dihasilkan cukup baik yaitu 0,575. Namun untuk memperoleh nilai koefisien korelasi yang kuat dibutuhkan faktor koreksi, seperti faktor meteorologi, kecepatan deposisi dan koreksi atmosfer untuk memperkuat korelasi sehingga hasil estimasi yang akan didapatkan lebih tepat dan akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH.

Terimakasih kepada AERONET NASA dan Laboratorium Kimia LAPAN Bandung yang telah menyediakan data dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Fiedler.V, R. Nau, S. Ludmann, F. Arnold, H. Schlager, and A. Stohl,. 2009. East Asian SO_2 pollution plume over Europe – Part 1: Airborne trace gas measurements and source identification by particle dispersion model simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics.*, 9, pp 4717 – 4728
- ²Powel J., 2008. *Work Instruction Manual for NATA Accredited Laboratories, CSIRO Marine and Atmospheric Research Aspendale Laboratories, Chemlab Wet Chemistry Measurement.* CMAR-NATA-WC-2,0 2nd Edition
- ³Budiwati, T. Indrawati, A. Tanti, D.A., 2011. Pengaruh Transportasi (NO_2 dan SO_2) Terhadap Deposisi Basah Di Cekungan Bandung. *Lingkungan Tropis*, Vol 6, No 2, pp 81-89.
- ⁴Kampa, M and E. Castanas,. 2008. Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, 151, pp 362 – 367.
- ⁵Bravo. M. A, M. Fuentes, Y. Zhang, M.J. Burr, M. L. Bell,. 2012. Comparison of exposure estimation methods for air pollutants: Ambient monitoring data and region air quality simulation. *Environmental Research.*, <http://dx.doi.org/10/1016/j.envers.2012.04.008>.
- ⁶Techarat, P., 2013. *Mapping predictive ambient concentration distribution of particulate matter and sulfur dioxide for air quality monitoring using remote sensing.* Disertasi. Fakultas Lingkungan dan Sistem Energi. Kanada: Universitas Regina.

- ⁷Indrawati, A., 2014. *Prediksi PM_{2.5} dengan pengukuran aerosol optical depth (AOD) menggunakan sun photometer level 2.0 pada panjang gelombang yang berbeda (Studi: Kota Bandung)*. Tesis. Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- ⁸Lu, Z, D.G. Streets, Q. Zhang, S. Wang, G. R. Carmichael, Y.E. Cheng, C. Wei, M. Chin, T. Diehl and Q. Tan,. 2010. Sulfur dioxide emissions in China and sulfur trends in East Asia since 2000. *Atmospheric chemistry and physics.*, 10, pp 6311 – 6331.
- ⁹Sipayung, B dan Risyanto, 2013. *Distribusi Awan Cumulonimbus (CB) di Indonesia Hasil Pengamatan Satelit MTSAT*. The 3rd International Conference on Theoretical and Applied Physics 2013 and Simposium Fisika Nasional XXVI. Malang, East Java.
- ¹⁰Fauzi. A, C. Asdak, Driejena, S. Hudyastuti, J. P. Kusumo, A. Riqqi, B. Bastiawan dan A. Aziz Sitepu., 2012. *Status Lingkungan Hidup Indonesia 2010*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 126 hlm.
- ¹¹Lee. C, R. V. Martin, A. Donkelaar, H. Lee, R.R Dickerson, J.C. Hains, N. Krotkov, A. Richter, K. Vinnikov and J.J. Schwab., 2011. SO₂ emissions and lifetimes: Estimates from inverse modeling using in situ and global, space-based (SCIAMACHY and OMI) observations. *Journal of geophysical research*, vol 116, pp 1 – 13.
- ¹²R. Bruce., 2009. The correlation coefficient: Its values range between +1/-1, or do they? The correlation coefficient *.Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*, Vol. 17, 2, 139–142.
- ¹³Meij A, A Pozzer, J Lelieveld., 2012. Trend analysis in aerosol optical depth and pollutant emission estimates between 200 and 2009. *Atmospheric Environment.* , 51, pp 75 – 85.