



Prosiding Seminar Sains Antariksa



Homepage: <http://www.lapan.go.id>

IDENTIFIKASI DAN PERBEDAAN SIANG MALAM TERHADAP OZON (O₃) DAN SULFUR DIOKSIDA (SO₂) DI SEMARANG

(Identification and Difference of Day Night on Ozone (O₃) and Sulfur Dioxide (SO₂) In Semarang)

Tuti Budiwati, Sumaryati, Dyah Aries Tanti dan Asri Indrawati

Pusat Sains Dan Teknologi Atmosfer -LAPAN

e-mail: tuti_lapan@yahoo.com

ABSTRAK

Riwayat Artikel:

Diterima: 19-11-2015

Direvisi: 16-10-2016

Disetujui: 19-10-2016

Diterbitkan: 24-10-2016

Kata kunci:

matahari, siang, malam, ozon, sulfur dioksida

Pengukuran gas-gas O₃ dan SO₂ dilakukan di Semarang secara sampling dengan menggunakan *passive sampler*. Sampling dilakukan di empat lokasi yaitu pantai Marina, pusat kota di Mall Ciputra Simpang Lima, Pedurungan, dan daerah desa Banyumanik dari tanggal 4 sampai 6 Agustus 2015 untuk siang dan malam hari. Selanjutnya 26 sampel gas O₃ dan SO₂ dianalisis di laboratorium Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional (LAPAN). Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh aktivitas matahari terhadap perubahan konsentrasi ozon dan sulfur dioksida. Hasil analisis memperlihatkan adanya pengaruh reaksi fotokimia karena matahari pada siang hari di Simpang Lima dan Banyumanik terhadap pembentukan O₃ dengan ratio sebesar 2,15 dan 2,10 dibandingkan lokasi lainnya. *Ratio* siang terhadap malam untuk SO₂ terbesar didapati di Simpang Lima dan Banyumanik sebesar 2,8 dan 2,6 sebagai indikasi adanya pengaruh aktivitas matahari. Pada tanggal 5 Agustus polutan yang diterima di kota Semarang untuk 24 jam ke belakang berasal dari sumber polutan di Jawa Tengah bagian tenggara. Berdasarkan *back trajectory* 196 jam atau 8 hari ke belakang terlihat pengaruh letusan gunung berapi Raung ke arah pulau Jawa. Konsentrasi rata-rata O₃ tertinggi sebesar 55,33±24,43µg/m³ terdapat di Banyumanik merupakan daerah yang hijau. Konsentrasi rata-rata SO₂ tertinggi sebesar 22,88±21,66µg/m³ terdapat di Simpang Lima berasal dari transportasi.

ABSTRACT

Keywords:

Sun, day, night, ozone, sulfur dioxide

Gases O₃ and SO₂ were measured in Semarang by sampling using passive samplers. Sampling was carried out in four locations: the Marina beach, city center at Ciputra Mall-Simpang Lima, Pedurungan and rural areas of Banyumanik from 4th to August 6th, 2015 for day and night. The next, 26 of O₃ and SO₂ gas samples were analyzed at the laboratory of the National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN). The research objective was to determine the activity of the sun to changes in the concentration of ozone and sulfur dioxide. Results showed the influence of photochemical reactions due to the sun at day time in Simpang Lima and Banyumanik to the formation of O₃ with a ratio of 2.15 and 2.10 compared to other locations. Ratio day to night for the largest SO₂ were found in Simpang Lima and

Banyumanik by 2.8 and 2.6 as an indication of the influence of solar activity. On August 5, the pollutant received in Semarang for 24 hours to come back from the source of the pollutants in the southeastern part of Central Java. Based on the trajectory back 196 hours or 8 days behind visible effect of the eruption Raung volcano toward the island of Java. The average concentrations of highest O_3 of $55.33 \pm 24.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ was found in Banyumanik as a green area. The average concentration of highest SO_2 of $22.88 \pm 21.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ was found in Simpang Lima related to transportation.

1. Pendahuluan

Gas rumah kaca (Green House Gases) seperti karbondioksida (CO_2), dinitrogen oksida (N_2O), metana (CH_4), H_2O (uap air), dan ozon (O_3) mempunyai efek memanaskan troposfer dan permukaan bumi dikarenakan sebagian radiasi yang diemisikan dari permukaan bumi dikembalikan ke bumi dan sebagian diserap. Gas-gas rumah kaca yang paling berpengaruh adalah uap air yang konsentrasinya tidak dipengaruhi oleh aktivitas manusia secara langsung, berikutnya adalah CO_2 dengan *radiative forcing* $1,66 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ yang diramalkan naik secara berlebihan di masa yang akan datang, dan CH_4 walaupun jumlahnya sedikit namun mempunyai *radiative forcing* tinggi sebesar $0,48 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (IPCC, 2007).

Sedangkan O_3 di troposfer adalah gas rumah kaca ketiga yang mempunyai potensi memanaskan troposfer dan permukaan bumi karena *radiative forcing* sebesar $0,35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Gas O_3 adalah polutan sekunder yang terbentuk karena reaksi fotokimia NO_2 dengan *photon* ($h\nu$) dari sinar matahari. Ozon troposfer diketahui konsentrasinya selalu meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi prekursoranya seperti karbonmonoksida (CO), metana (CH_4) dan nitrogen dioksida (NO_2). Peningkatan emisi gas-gas hasil pembakaran bahan bakar dan biomasa seperti CO_2 , karbonmonoksida (CO), sulfur dioksida (SO_2), nitrogen oksida (NO_x), N_2O , CH_4 , hidrokarbon lainnya dan aerosol ke udara akan mempengaruhi konsentrasi O_3 (Houghton *et al.*, 2001). Reaksi fotokimia CO dan CH_4 di troposfer pada kondisi NO_x tinggi menghasilkan O_3 yang juga termasuk polutan yang berbahaya (Crutzen, 1995).

Selain gas-gas rumah kaca yang disebutkan terdahulu, ternyata SO_2 mempunyai kemampuan pula dalam menyeimbangkan temperatur yang naik karena gas rumah kaca, dan dalam 10-30 tahun ke depan kemungkinan kenaikan *radiative forcing* yang disebabkan oleh perubahan konsentrasi SO_2 dapat menggantikan penurunan

radiative forcing yang disebabkan penurunan emisi CO_2 (Wigley, 1989). Dampak lainnya, SO_2 dan turunannya seperti bisulfit dan sulfit terhadap kesehatan adalah bronkokonstriksi pada penderita asma (Lester, 1995). SO_2 , bisulfit, dan sulfit adalah racun dan sesampainya di saluran sirkulasi darah dan semua organ tubuh dapat merusak DNA dalam sel-sel di berbagai organ (Meng dan Zhang, 2002; Meng *et al.*, 2002).

Pencemaran udara atau atmosfer oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen sulfur bentuk gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO_2) dan sulfur trioksida (SO_3), dan keduanya disebut sulfur oksida (SO_x). SO_2 dan gas-gas oksida sulfur lainnya terbentuk saat terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung sulfur. Di Cina dimana SO_2 mencapai puncaknya pada musim dingin dikarenakan penggunaan batubara (Meng *et al.*, 2010). Tingginya SO_2 di Cina disebabkan oleh penggunaan batubara untuk energi dan industri. Sulfur sendiri terdapat dalam hampir semua material mentah yang belum diolah seperti minyak mentah, batu bara, dan bijih-bijih yang mengandung metal seperti aluminium, tembaga, seng, timbal dan besi.

Setelah berada di atmosfer sebagai SO_2 akan diubah menjadi SO_3 kemudian menjadi H_2SO_4 oleh proses-proses fotolitik dan katalitik. Jumlah SO_2 yang teroksidasi menjadi SO_3 dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk jumlah air yang tersedia, intensitas radiasi matahari, waktu dan distribusi spektrum sinar matahari, jumlah bahan katalik, bahan sorptif dan alkalin yang tersedia. Pada malam hari atau kondisi lembap atau selama hujan SO_2 di udara diabsorpsi oleh *droplet* air alkalin dan bereaksi pada kecepatan tertentu untuk membentuk sulfat (H_2SO_4) di dalam *droplet*. Karena itu matahari mempunyai peran yang sangat menentukan besarnya konsentrasi SO_2 , selain dari faktor sumber.

Berdasarkan pembentukan O_3 yang dipengaruhi oleh sinar matahari dan berkurangnya SO_2 karena pembentukan sulfat yang lebih besar di malam hari. Maka kondisi

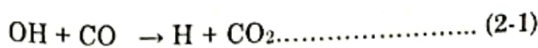
siang dan malam hari mempunyai peran yang penting terhadap perubahan konsentrasi O₃ dan SO₂. Selanjutnya dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh aktivitas matahari terhadap perubahan konsentrasi ozon dan sulfur dioksida.

2. Landasan Teori

Ozon adalah molekul yang tersusun atas 3 atom oksigen, secara alamiah berbentuk gas dan terdapat di atmosfer bumi. Lapisan ozon terdiri dari ozon troposfer dan stratosfer. Ozon troposfer adalah ozon di atmosfer pada ketinggian di bawah 10-16 km, dan ozon terkonsentrasi di stratosfer pada ketinggian 15-30 km (EPA-USA, 2011). Ozon stratosfer adalah ozon baik, jumlahnya ± 99% ozon total, berfungsi melindungi bumi dari radiasi UV yaitu menyerap radiasi ultraviolet (UV) pada panjang gelombang tertentu. Konsentrasi ozon bervariasi sesuai dengan lintang, dan konsentrasi tertinggi terdapat di stratosfer yang jaraknya lebih kurang 25-30 km dari permukaan bumi (Bojkov, 1995; Meszaros, 1981). Ozon troposfer adalah ozon jelek, jumlahnya ± 10% ozon total. Bersifat racun, oksidator sehingga merugikan kehidupan di bumi.

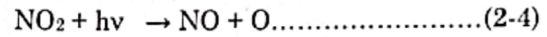
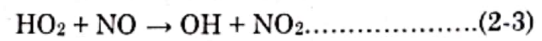
Sumber ozon troposfer berasal dari reaksi fotokimia di troposfer karena adanya ozon "precursor" seperti CO, CH₄, NO_x, NMHC dan mendapat transport dari stratosfer (Meszaros, 1981; Anderson and Herschbach, 1985). CO dan NO₂ dihasilkan oleh sumber alamiah seperti kebakaran hutan dan lahan, dan sumber antropogenik seperti pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor. Aktivitas fotokimia yang tinggi di tropis disebabkan adanya insolasi matahari yang kuat.

Adapun reaksi pembentukan ozon dimulai dengan reaksi oksidasi OH oleh CO (Seinfeld dan Pandis, 1998; Anderson dan Herschbach, 1985). Atom hidrogen yang terbentuk kemudian bereaksi cepat dengan oksigen membentuk radikal peroksida HO₂ sebagai berikut:

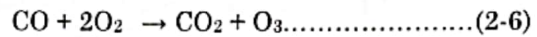


Selanjutnya radikal peroksida bereaksi dengan NO menghasilkan NO₂ yang kemudian akan mengalami proses fotolisa sehingga menghasilkan atom oksigen. Atom oksigen ini

kemudian bereaksi dengan oksigen membentuk ozon.



Adapun reaksi akhirnya adalah sebagai berikut:



Mekanisme pembentukan SO_x (SO₂ dan SO₃) dapat dituliskan dalam dua tahap reaksi sebagai berikut:



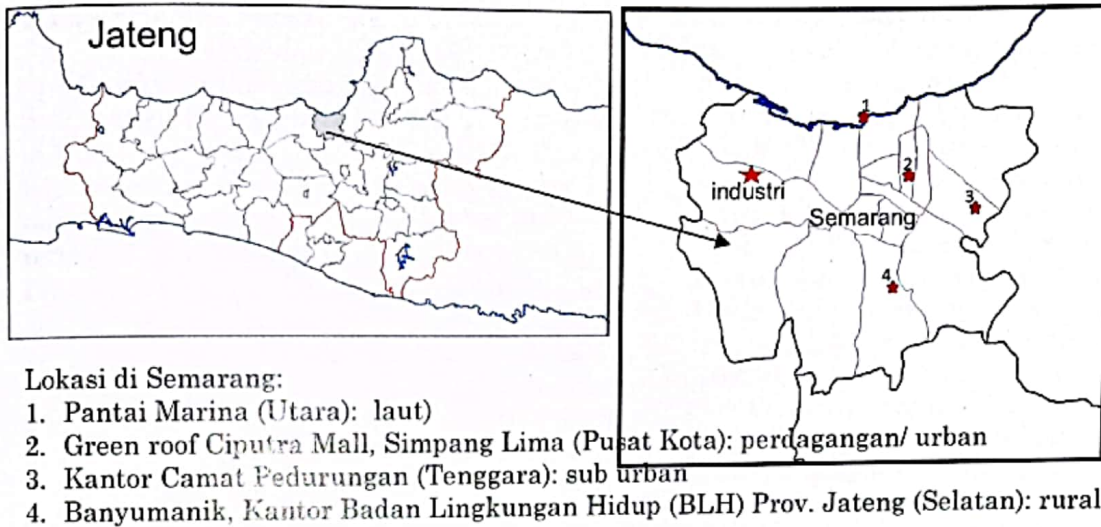
SO₃ di udara dalam bentuk gas hanya mungkin ada jika konsentrasi uap air sangat rendah. Jika uap air terdapat dalam jumlah cukup, SO₃ dan uap air akan segera bergabung membentuk *droplet* asam sulfat (H₂SO₄) dengan reaksi sebagai berikut :



3. Material dan Metode

3.1 Lokasi

Semarang adalah sebuah kota di pantai utara pulau Jawa memiliki luas wilayah 373,70 kilometer persegi (144,29 mil persegi) dan penduduk sekitar 2 juta orang, kota ke enam terpadat dan terbesar ke lima di Indonesia setelah Jakarta, Surabaya, Bandung, dan Medan. Kota ini terletak pada 6° 58'S 110° 25'E dan Gambar 3-1 adalah lokasi pengamatan dan sampling udara untu gas SO₂ dan O₃ di Semarang.



Gambar 3-1. Lokasi sampling udara untuk gas SO_2 dan O_3 di Semarang.

3.2 Sampling dan analisis

Pengukuran gas-gas O_3 dan SO_2 dilakukan di Semarang secara sampling udara (pengambilan sampel udara) dengan menggunakan *passive sampler*. Sampling dilakukan di empat lokasi yaitu pantai Marina di utara, di *Green roof* Mall Ciputra Simpang Lima terletak di pusat kota, Pedurungan merupakan daerah *sub urban* (tenggara), dan Banyumanik (selatan) yang termasuk kategori desa dari tanggal 4 sampai 6 Agustus 2015 untuk siang dan malam hari. Lokasi sampling udara diperlihatkan pada Gambar 3-1.

Sampling menggunakan metode *passive sampler* dari CSIRO Australia (Powell, 2007), yaitu secara penyerapan dengan larutan kimia. Pembuatan larutan penyerap O_3 dengan mencampurkan 0,25 gram K_2CO_3 (kalium karbonat) dan 0,25 gram NaNO_2 (natrium nitrit) dalam labu ukur 50 mL, ditambah sedikit air murni (*aquadest*) dan dikocok hingga K_2CO_3 dan NaNO_2 larut. Kemudian ditambahkan 1 mL gliserol dan 15 mL methanol, dan terakhir tambahkan air murni sampai tanda batas dan dikocok hingga homogen. Larutan penyerap diteteskan pada filter Whatman no 40 sebanyak 50 μL yang terpasang pada alat *passive sampler*.

Gas O_3 akan diserap oleh larutan K_2CO_3 dan NaNO_2 .

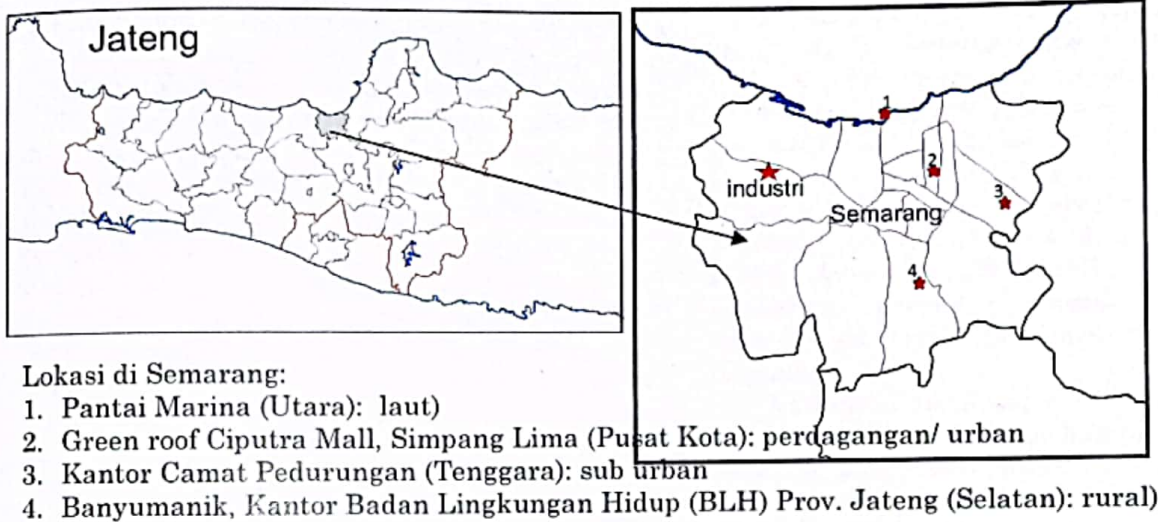
SO_2 diserap oleh larutan aktif NaOH sebanyak 50 μL dalam filter Whatman no 40. Filter yang mengandung gas SO_2 dan O_3 dilarutkan dalam 5 mL air murni selama 24 jam dan selanjutnya konsentrasi O_3 dan SO_2 ditentukan dengan ion kromatografi Dionex 1600.

Sebanyak 26 sampel gas O_3 dan SO_2 yang terkumpul dianalisis di laboratorium Pusat Sains Dan Teknologi Atmosfer LAPAN.

3.3. Metode Pengolahan Data

Metode statistik dengan perhitungan rata-rata dan perbandingan (*ratio*) nilai siang dan malam digunakan untuk analisis pengaruh matahari terhadap konsentrasi O_3 dan SO_2 . Software Excell dipergunakan untuk metode statistik tersebut.

Penggambaran trayektori membutuhkan input data meteorologi dengan menggunakan perangkat pemodelan kualitas udara. Perangkat yang dapat digunakan antara lain Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (Hysplit) Model dari NOAA USA.



Gambar 3-1. Lokasi sampling udara untuk gas SO_2 dan O_3 di Semarang.

3.2 Sampling dan analisis

Pengukuran gas-gas O_3 dan SO_2 dilakukan di Semarang secara sampling udara (pengambilan sampel udara) dengan menggunakan *passive sampler*. Sampling dilakukan di empat lokasi yaitu pantai Marina di utara, di *Green roof* Mall Ciputra Simpang Lima terletak di pusat kota, Pedurungan merupakan daerah *sub urban* (tenggara), dan Banyumanik (selatan) yang termasuk kategori desa dari tanggal 4 sampai 6 Agustus 2015 untuk siang dan malam hari. Lokasi sampling udara diperlihatkan pada Gambar 3-1.

Sampling menggunakan metode *passive sampler* dari CSIRO Australia (Powell, 2007). yaitu secara penyerapan dengan larutan kimia. Pembuatan larutan penyerap O_3 dengan mencampurkan 0,25 gram K_2CO_3 (kalium karbonat) dan 0,25 gram NaNO_2 (natrium nitrit) dalam labu ukur 50 mL, ditambah sedikit air murni (*aquadest*) dan dikocok hingga K_2CO_3 dan NaNO_2 larut. Kemudian ditambahkan 1 mL gliserol dan 15 mL methanol, dan terakhir tambahkan air murni sampai tanda batas dan dikocok hingga homogen. Larutan penyerap diteteskan pada filter Whatman no 40 sebanyak 50 μL yang terpasang pada alat *passive sampler*.

Gas O_3 akan diserap oleh larutan K_2CO_3 dan NaNO_2 .

SO_2 diserap oleh larutan aktif NaOH sebanyak 50 μL dalam filter Whatman no 40. Filter yang mengandung gas SO_2 dan O_3 dilarutkan dalam 5 mL air murni selama 24 jam dan selanjutnya konsentrasi O_3 dan SO_2 ditentukan dengan ion kromatografi Dionex 1600.

Sebanyak 26 sampel gas O_3 dan SO_2 yang terkumpul dianalisis di laboratorium Pusat Sains Dan Teknologi Atmosfer LAPAN.

3.3. Metode Pengolahan Data

Metode statistik dengan perhitungan rata-rata dan perbandingan (*ratio*) nilai siang dan malam digunakan untuk analisis pengaruh matahari terhadap konsentrasi O_3 dan SO_2 . Software Excell dipergunakan untuk metode statistik tersebut.

Penggambaran trayektori membutuhkan input data meteorologi dengan menggunakan perangkat pemodelan kualitas udara. Perangkat yang dapat digunakan antara lain Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (Hysplit) Model dari NOAA USA.

4. Pembahasan

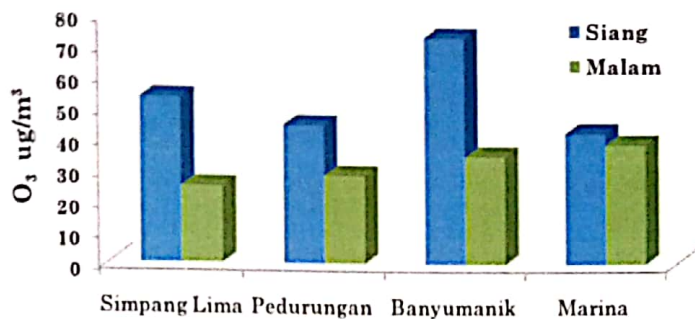
4.1 Pengaruh Matahari

Gambar 4-1 memperlihatkan konsentrasi O_3 pada siang lebih tinggi dibandingkan malam hari di 4 lokasi pengamatan di Semarang. Pada siang hari matahari memberikan energi photon ($h\nu$) untuk membentuk O_3 dari reaksi fotokimia terhadap *precursor* CO , CH_4 , NO_x , NMHC. Proses ini yang menyebabkan nilai ozon meningkat, seperti yang terjadi menjelang siang hari, sementara konsentrasi ozon meningkat maka yang terjadi adalah konsentrasi *precursor*nya akan menurun (Budiyono et al., 2003). Berdasarkan penelitian di kota Bandung konsentrasi ozon naik maka konsentrasi kedua *precursor*, yaitu NO_2 dan CO akan turun (Budiyono et al., 2003). pola harian konsentrasi O_3 mencapai puncaknya antara jam 12:00-13:00 siang hari.

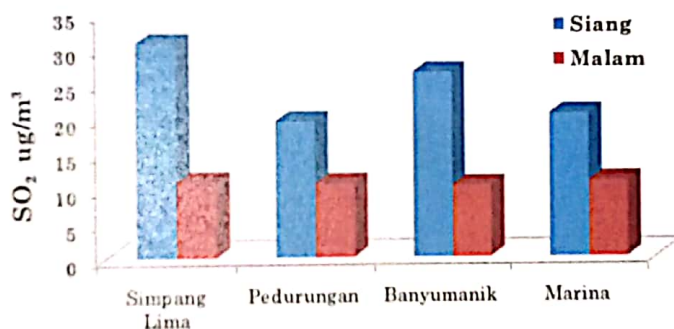
Konsentrasi rata-rata harian O_3 tertinggi sebesar $55,33 \pm 24,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ terdapat di Banyumanik, selanjutnya terkecil sebesar $37,15 \pm 13,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ terdapat di Pedurungan. Banyumanik adalah daerah pedesaan yang kaya akan tanaman hijau, maka sumber O_3 berasal dari jumlah *precursor* seperti *Volatile organic compounds* (VOCs) dan *Non-methane VOCs* (NMVOCs) yang melimpah. Berdasarkan Jacob dalam Horowitz (2012) bahwa *Volatile organic*

compounds (VOCs) seperti metana yang berasal dari sumber *wetlands*, *livestock*, gas alam dan *non-methane VOCs* (NMVOCs) berasal sumber tanaman, pembakaran. Sedangkan Simpang Lima adalah daerah perdagangan dengan jumlah transportasi tinggi ternyata mempunyai konsentrasi rata-rata O_3 sebesar $42,17 \pm 31,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pantai Marina yang terletak di utara Semarang mempunyai konsentrasi O_3 sebesar $41,56 \pm 18,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Berdasarkan penelitian Budiwati (2007), konsentrasi O_3 tinggi dan konsentrasi NO_2 dan SO_2 rendah di Bandung Utara yang mempunyai area vegetasi luas di Bandung. Ozon terbentuk di atmosfer karena reaksi fotokimia, bukan hasil gas buang kendaraan bermotor secara langsung, jadi transportasi tidak berpengaruh pula secara langsung.

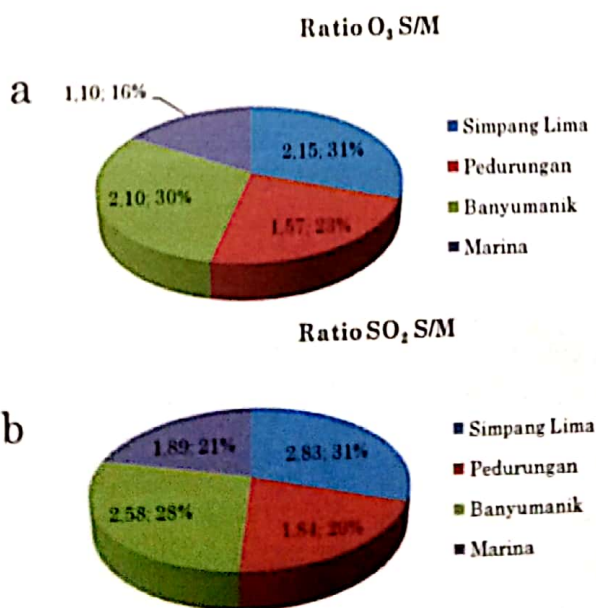
Variasi konsentrasi rata-rata SO_2 terlihat tinggi pada siang hari di hampir semua lokasi (Gambar 4-2), seperti profil variasi O_3 . Simpang Lima yang berada di pusat kota Semarang mempunyai konsentrasi rata-rata SO_2 tertinggi sebesar $22,88 \pm 21,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dibandingkan lokasi lainnya. Jumlah transportasi yang tinggi di Simpang Lima menjadi sumber SO_2 karena pembakaran bahan bakar minyak. Konsentrasi rata-rata SO_2 terkecil didapati di Pedurungan sebesar $15,24 \pm 5,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan Marina $16,02 \pm 7,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan Banyumanik mempunyai konsentrasi rata-rata SO_2 cukup tinggi yaitu $18,69 \pm 14,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi SO_2 yang tinggi di Banyumanik kemungkinan berasal dari sumber polutan di tenggara.



Gambar 4-1. Konsentrasi O₃ yang terukur di Simpang Lima, Pedurungan, Banyumanik dan pantai Marina di Semarang periode 4-6 Agustus 2015.



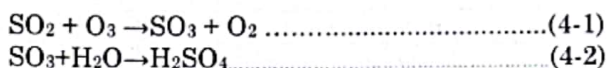
Gambar 4-2. Konsentrasi SO₂ yang terukur di Simpang Lima, Pedurungan, Banyumanik dan pantai Marina di Semarang periode 4-6 Agustus 2015.



Gambar 4-3. Ratio siang malam (Ratio S/M) dari a) O₃ dan b) SO₂ di Simpang Lima, Pedurungan, Banyumanik dan pantai Marina di Semarang periode 4-6 Agustus 2015.

Hasil memperlihatkan adanya pengaruh reaksi fotokimia karena matahari pada siang hari di Simpang Lima dan Banyumanik terhadap pembentukan O₃ dengan *ratio* sebesar 2,15 dan 2,10 dibandingkan lokasi lainnya (pada Gambar 4-3a). Peranan matahari sangat kuat mempengaruhi O₃ di siang hari disamping pengaruh dari jumlah *precursor*nya.

Konsentrasi O₃ yang tinggi pada siang hari akan berpengaruh dalam proses oksidasi SO₂ dan selanjutnya menjadi sulfat pada malam hari dikarenakan kelembapan yang lebih tinggi dibandingkan siang hari. Maka O₃ yang berlebihan akan sangat mempengaruhi kecepatan oksidasi dan konsentrasi gas SO₂ akan berkurang karena menjadi SO₃ dilanjutkan senyawa sulfat. Mekanisme reaksi oksidasi SO₂ dengan O₃ menjadi H₂SO₄ adalah sebagai berikut (Finlayson *et al.*, 1986):



Ratio siang terhadap malam untuk SO₂ terbesar didapati di Simpang Lima dan Banyumanik sebesar 2,83 dan 2,58 (Gambar 4-3b). Indikasi adanya pengaruh aktivitas matahari diperlihatkan dengan konsentrasi SO₂ yang lebih kecil pada malam hari karena berkurang menjadi SO₃ dan jumlah SO₂ berkurang pula pada malam karena penurunan emisinya.

Berdasarkan Tabel 4-1 dapat dilihat bahwa kelembapan udara dan temperatur mempunyai nilai yang hampir sama atau mirip antara siang dan malam hari. Sehingga potensi terbentuknya SO₃ dalam bentuk gas sangat mungkin dan mengurangi pembentukan droplet asam sulfat (H₂SO₄).

Tabel 4-1

Kelembapan udara dan temperatur di Semarang berdasarkan data stasiun Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika dan Bandara Semarang tanggal 4 sampai 6 Agustus 2015 pada siang dan malam hari. (Sumber data: OGIMET, 2015).

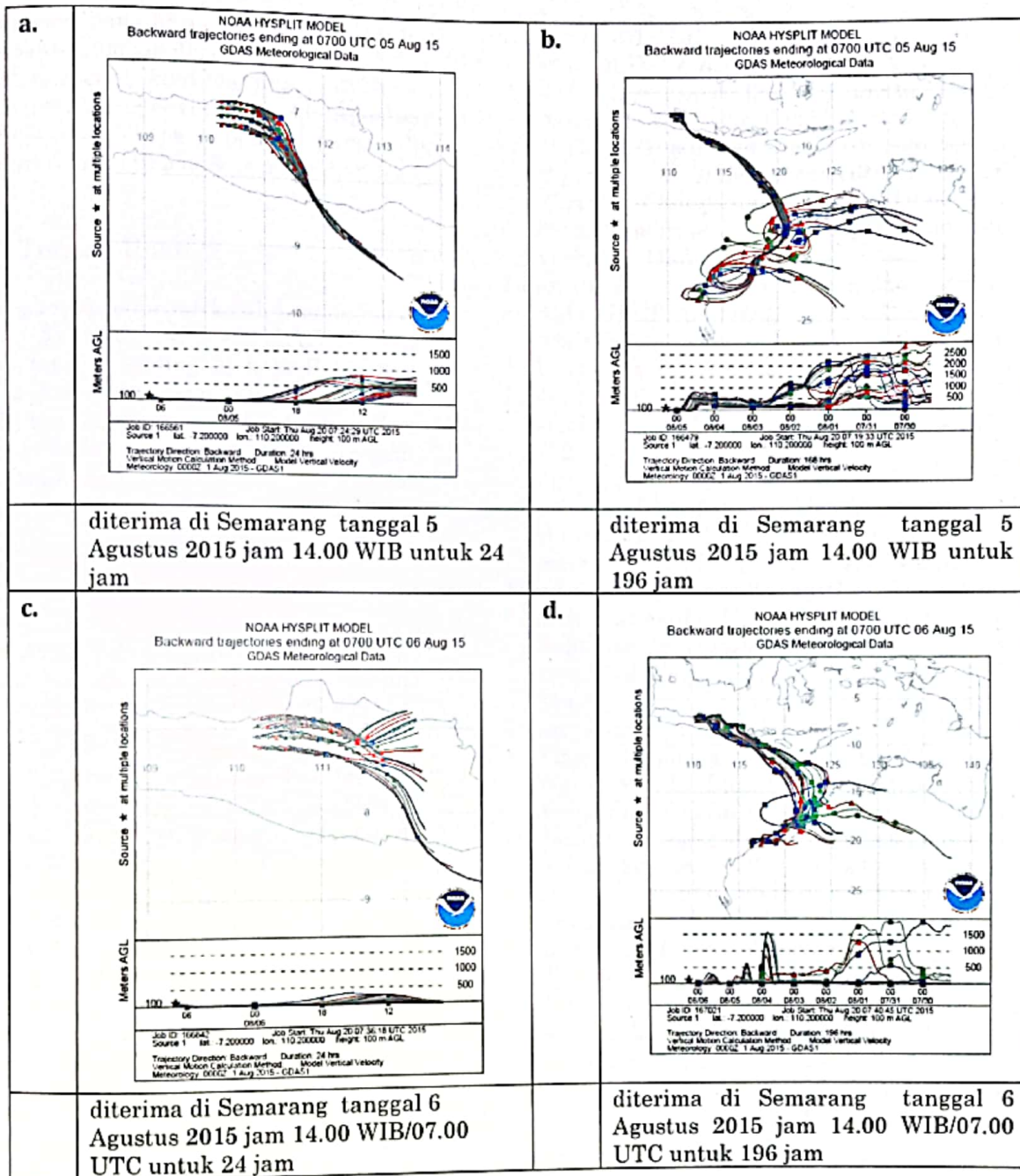
Waktu	Jl. Achmad Yani (06-59S:110-23E)				Bandara Semarang (06-58S:110-25E)			
	<i>Siang</i>		<i>Malam</i>		<i>Siang</i>		<i>Malam</i>	
	RH%	T °C	RH%	T °C	RH%	T °C	RH%	T °C
4 Agustus'15	66,8	27,43	67,5	27,39	68,1	27,60	68,9	27,50
5 Agustus'15	66,7	27,67	65,4	27,72	71,5	27,32	69,9	27,39
6 Agustus'15	64,8	28,21	66,0	28,12	68,9	27,83	70	27,75

a. Back Trajectory Polutan

Sebagai masukan disamping adanya pengaruh aktivitas matahari dalam proses pembentukan O₃ dan SO₂, juga ada pengaruh lainnya. Maka dilakukan analisis terhadap trajektori polutan ke belakang atau *back trajectory*. Hasil pelaporan dari NASA (Juli 2015) bahwa letusan gunung berapi Raung pada tanggal 27 Juli 2015 mencapai ketinggian 4-5 kilometer dan melayang 100-200 km. Pada Gambar 4-4 berdasarkan *back trajectory* 196 jam atau 8 hari ke belakang terlihat pengaruh letusan gunung berapi Raung ke arah pulau Jawa. Pada tanggal 5 Agustus polutan yang diterima di kota Semarang untuk 24 jam ke

belakang dominan berasal dari sumber polutan di Jawa Tengah bagian tenggara dan samudra Hindia di selatan. Dampaknya terlihat pada konsentrasi gas polutan yang lebih mencerminkan karakteristik dari lokasi sampling sebagai sumber yang mempengaruhinya.

Demikian pula pada tanggal 6 Agustus 2015 terlihat adanya pengaruh lokal yang kuat yaitu berdasarkan lintasan (*back trajectory*) 24 jam ke belakang terhadap polutan yang diterima di Semarang. Sumber dari sebelah timur yang merupakan kawasan industri akan mempengaruhi konsentrasi O₃ dan SO₂.



Gambar 4-4. Back trajectory polutan diterima di Semarang tanggal 5 dan 6 Agustus 2015.

5. Kesimpulan

Pengaruh intensitas radiasi matahari dari pada bulan Agustus sangat kuat dalam peningkatan konsentrasi O₃ pada siang hari. Sebaliknya konsentrasi SO₂ tinggi pada siang hari dibandingkan malam hari karena berubah menjadi SO₃ dan dikarenakan jumlah sumber SO₂ juga menurun. Maka potensi pembentukan

dan peningkatan konsentrasi O₃ akan kuat sekali pada saat insolasi matahari yang kuat pada bulan Agustus pada musim kering. Kisaran *ratio* siang dan malam dari O₃ adalah 1,10-2,15 dan SO₂ adalah 1,84-2,83.

Selain itu sumber polutan dari utara dan timur (kawasan industri dan laut) mempengaruhi kualitas udara di kota

Semarang pada siang hari pada bulan Agustus 2015 tersebut. Sumber dari utara dalam 6-12 jam mempengaruhi kualitas udara di kota Semarang pada siang hari pada bulan Agustus 2015. Berdasarkan back trajectory pengaruh polutan dari selatan tiba di Semarang diatas 24 jam.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Pusat Sains Dan Teknologi Atmosfer LAPAN yang telah mendanai sampling di kota Semarang, Selain itu kami mengucapkan terima kasih kepada Badan Lingkungan Hidup Daerah Kota Semarang, BLH Provinsi Jawa Tengah, Ciputra Mall dan pihak-pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

Rujukan

- Anderson and Herschbach. (1985). Atmospheric Ozone 1985 Volume I, World Meteorology Organization Global Ozone Research and Monitoring Project-Report, No.16, NASA, page 118, 119, 120.
- Budiyono A., Latief C., Mulyono, dan Suparno. (2003). Kajian Kualitas Udara Ambien di Cekungan Bandung, *Laporan Penelitian Tahun 2003 Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim*.
- Budiwati, T. (2007). Correlation Between NO_x, SO_x, and O₃ with Transportation in Bandung, *Proceedings Science for Sustainable Humanosphere, International Collaborative Programs in Indonesia, Lapan-Bandung-Indonesia, July 25, 2007*, ISBN: 978-979-1458-06-1.
- Bojkov, R.D. (1995). The Changing Ozone Layer, World Meteorological Organization and United Nations Environment Programme, pp. 1-25.
- Crutzen P.J. (1995). The Role Methane in Atmospheric Chemistry and Climate, dalam: Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction, *Proceeding of the Eight International Symposium on Ruminant Physiology*.
- EPA-USA. (2011). Ozone Science: The Facts Behind the Phaseout, <http://www.epa.gov/ozone/science/scfact.html#o3alt>, diunduh 6 April 2011.
- Finlayson B. J., Pitts and Pitts Jr. J. N. (1986). *Atmospheric Chemistry*. Wiley-New York.
- Houghton J.T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguera, M., Van Der Linden, P. J., Dai, X, Maskell, K., Johnson, C. A. (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- Horowitz, L. (2012). Atmospheric Chemistry in AM3, *GFDL Summer School on Atmospheric Modeling*, GFDL/NOAA Princeton University July 19, diunduh 2014.
- Lester M.R. (1995). Sulfite sensitivity significance in human health, *Nutr. 14: 229-232*.
- Meng, Z., and Zhang, B. (2002). Induction effects of sulfur dioxide inhalation on chromosomal aberrations in mouse bone marrow cells. *Mutagenesis 17: 215-217*.
- Meng, Z., Sang N., and Zhang, B. (2002). Effects of derivatives of sulfur dioxide on micronuclei formation in mouse bone marrow cells in vivo. *Bull. Environ Contam. Toxicol, 69: 257-264*.
- Meng, Zhao-Yang, Xiao-Bin Xu, Tao Wang, Xing-Ying Zhang, Xiao-Lan Yu, Shu-Feng Wang, Wei-Li Lin, Yi-Zhen Chen, Yi-An Jiang, Xing-Qin An. (2010). Ambient sulphur dioxide, nitrogen dioxide, and ammonia at ten background and rural sites in China during 2007-2008, *Atmospheric Environment 44, 2625-2631*.
- Meszaros, E. (1981). *Atmospheric Chemistry (Fundamental Aspects)*, Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam – Oxford – New York, *Studies in Environment Science*, Vol. II pp. 58-90.
- OGIMET. (2015). Professional information about meteorological conditions in the world, <http://www.ogimet.com/>, diunduh 11 Nopember 2015.
- Powell, J. (2007). Chemlab Wet Chemistry Measurement Work, *Instruction Manual for NATA Accredited Laboratories*, CSIRO Marine and Atmospheric Research Aspendale Laboratories, 109 hal.
- Seinfeld J.H. and Pandis S.N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change*, John Wiley and Sons. INC., New York, hal.1031.
- Seminar Nasional Sains Antariksa 2015 LAPAN Bandung, 22 November 2015