

IDENTIFIKASI SUMBER POLUTAN BERDASARKAN TRAYEKTORI MASSA UDARA DI SEMARANG

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

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN

Pos-el : tuti_lapan@yahoo.com

Abstract

Increase of exhaust gases such as NH_3 , NO_2 , SO_2 , and aerosols (particles) will be lead to acid rain, health problems, global warming and climate change in the long period. It is necessary to monitor and analyze the source of the pollutant gases. Measurement of gases NO_2 , NH_3 , O_3 and SO_2 carried out in Semarang by sampling using passive sampler. The sampling was conducted in four locations: the Marina beach (north), Simpang Lima (downtown), Pedurungan (southeast), and Banyumanik (south) from 4 to 6 August, 2015 for day and night. Sources of pollutants in Semarang can be detected by using the trajectories of air mass from the model HYSPLIT. The results showed that the air quality in Semarang were still below ambient air quality standard. Average concentration value of pollutants from high to low is $NH_3 > NO_2 > O_3 > SO_2$, respectively. Simpang Lima area has a high concentration for four gas pollutants. Source of pollutants from the north within 6-12 hours affect air quality in the city of Semarang on a night in August. Java sea in the north coastal contributed a significantly NH_3 concentration, seen from high concentrations was $477.38 \pm 283.73 \mu g/m^3$. During the day the pollutants were removed by air masses from the southeast or Indian ocean to Semarang in 24 hours.

Keywords : pollutant gas, trajectory, air mass, HYSPLIT

Abstrak

Peningkatan gas buang seperti NH_3 , NO_2 , SO_2 , dan aerosol (partikel) akan berakibat pada terjadinya hujan asam, terganggunya kesehatan, pemanasan global dan perubahan iklim pada periode panjang. Maka perlu dilakukan pemantauan dan analisis asal sumber gas-gas polutan tersebut. Pengukuran gas-gas NO_2 , NH_3 , O_3 dan SO_2 dilakukan di Semarang secara sampling dengan menggunakan *passive sampler*. Sampling dilakukan di empat lokasi yaitu di pantai Marina (utara), Simpang Lima (pusat kota), Pedurungan (tenggara), dan Banyumanik (selatan) dari tanggal 4 sampai 6 Agustus 2015 untuk siang dan malam hari. Asal sumber polutan di Semarang dapat diketahui dengan menggunakan trayektori massa udara dari model HYSPLIT. Hasil memperlihatkan bahwa kualitas udara di Semarang masih di bawah baku mutu udara ambien. Nilai konsentrasi rata-rata dari polutan berurutan dari tinggi ke rendah adalah $NH_3 > NO_2 > O_3 > SO_2$. Daerah Simpang Lima mempunyai konsentrasi yang tinggi untuk empat gas polutan. Sumber polutan dari utara dalam 6-12 jam mempengaruhi kualitas udara di kota Semarang pada malam hari pada bulan Agustus. Laut Jawa di pantai utara memberikan kontribusi NH_3 cukup signifikan, terlihat dari konsentrasinya yang tinggi $477,38 \pm 283,73 \mu g/m^3$. Pada siang hari polutan dipindahkan oleh massa udara dari tenggara atau Laut Hindia ke Semarang dalam waktu 24 jam.

Kata kunci : gas polutan, trayektori, massa udara, HYSPLIT

1. PENDAHULUAN

Kualitas udara memburuk karena perubahan tata guna lahan di perkotaan dan merupakan masalah yang harus diperhatikan. Penggunaan bahan bakar minyak dan batubara di sektor industri

dan pembangkit listrik akan mengemisikan NO_2 , SO_2 , dan aerosol $\{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan $\text{NH}_4\text{NO}_3\}$. Sulfur sendiri terdapat dalam hampir semua material mentah yang belum diolah seperti minyak mentah, batu bara, dan bijih-bijih logam seperti aluminium, tembaga, seng, timbal dan besi. SO_2 dan gas-gas oksida sulfur lainnya terbentuk saat terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung sulfur seperti solar, batubara, juga pengolahan logam.¹ Di Cina SO_2 mencapai puncaknya pada musim dingin disebabkan penggunaan batubara.² Gas SO_2 di atmosfer berasal dari sumber alam seperti gunung berapi, oksidasi dimetil sulfida (DMS) dari laut³, dan sumber antropogenik dari pembakaran batubara. Konsentrasi SO_2 di atmosfer mempunyai pengaruh terhadap perubahan iklim global.^{4,5}

Sumber NH_3 di atmosfer berasal dari emisi kotoran ternak (39%), sumber alam (19%), pemupukan (17%), dan pembakaran biomasa (13%).⁶ NH_3 sebagai gas basa di atmosfer akan bereaksi dengan HNO_3 , HCl dan H_2SO_4 untuk membentuk amonium nitrat, amonium klorida dan amonium sulfat⁷, selanjutnya terdeposisi ke permukaan bumi. Jadi, NH_3 mempunyai peranan yang penting di atmosfer dalam pembentukan partikel⁸ dan gas ini merupakan komponen utama dari nitrogen total yang reaktif. Partikel-partikel mempunyai peranan dalam perubahan iklim secara global karena sifat yang memantulkan radiasi matahari.^{4,8}

Kondisi kualitas udara yang buruk juga diperlihatkan oleh tingginya konsentrasi ozon (O_3) di permukaan (sampai troposfer). Sumber ozon troposfer berasal dari reaksi fotokimia di troposfer karena adanya ozon "precursor" seperti CO , CH_4 , NO_x , NMHC dan transport ozon dari stratosfer.^{9,10} Di kota-kota besar terdapat lebih banyak komponen-komponen yang kompleks dalam aerosol disebabkan polusi industri dan transportasi, akibatnya berdampak pada komposisi yang kompleks pula dalam air hujan.¹¹

Peningkatan gas buang seperti NH_3 , NO_2 , SO_2 , dan aerosol (partikel) akan berakibat pada terjadinya hujan asam, terganggunya kesehatan, pemanasan global dan perubahan iklim pada periode panjang. Perlu dilakukan pengendalian dan mempertahankan tata ruang di perkotaan yang memenuhi persyaratan lingkungan. Selain itu faktor meteorologi akan mempengaruhi penyebaran polutan. Polutan-polutan tersebut relatif stabil di atmosfer dan dapat berpindah bersamaan dengan massa udara untuk jarak jauh.¹² Lintasan udara memperlihatkan bahwa emisi yang berasal dari sumber yang jauh akan melewati wilayah dan dapat berdampak pada daerah yang tidak terpolusi.

Proses ini dapat lebih dipahami ketika lintasan udara juga termasuk dalam penelitian. Kajian penelitian ini adalah untuk mengetahui sumber polutan di Semarang dengan menggunakan trayektori massa udara dari model *Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (HYSPLIT).

2. METODOLOGI PENELITIAN

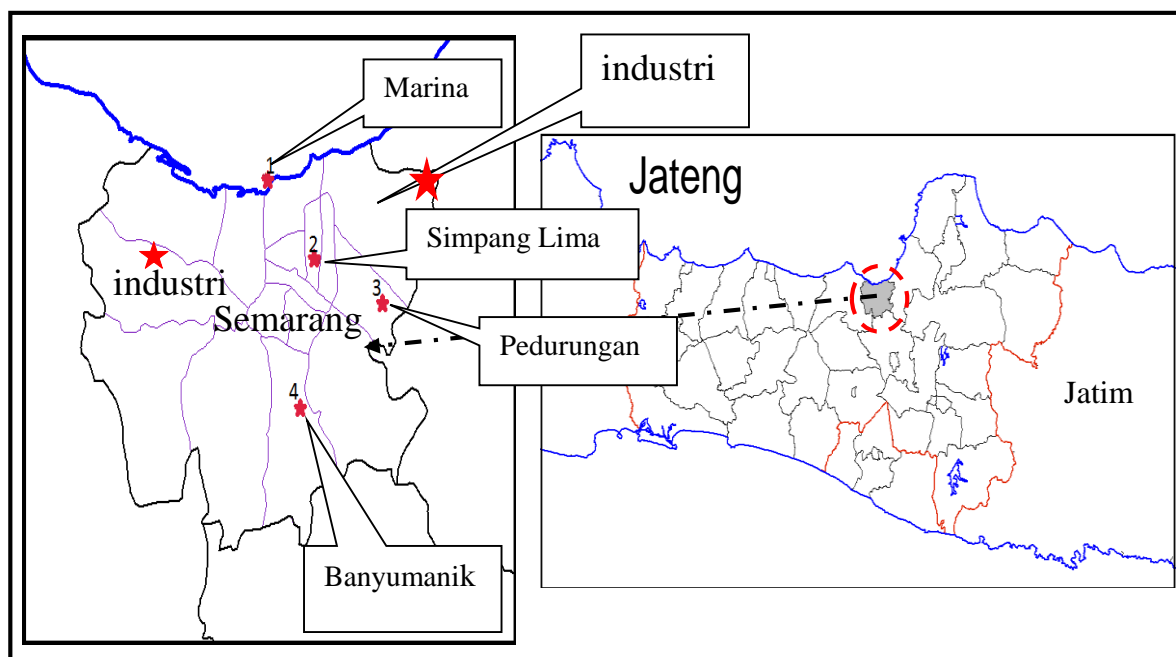
2.1 Lokasi *sampling*

Semarang adalah sebuah kota di pantai utara Pulau Jawa yang memiliki luas wilayah 373,70 kilometer persegi (144,29 mil persegi) dan penduduk sekitar 1.506.924 juta orang¹³, kota ke-enam terpadat dan terbesar ke-lima di Indonesia setelah Jakarta, Surabaya, Bandung, dan Medan. Kota ini terletak pada $6^\circ 58'S$ $110^\circ 25'E$ dan Gambar 1 adalah lokasi pengamatan atau *sampling* di Semarang.

Sampling dilakukan di empat lokasi yaitu di pantai Marina (utara), Simpang Lima (pusat kota), Pedurungan (tenggara), dan Banyumanik (selatan) dari tanggal 4 sampai 6 Agustus 2015 untuk siang dan malam hari. Sampel gas NH_3 , O_3 dan SO_2 yang terkumpul selanjutnya dianalisis dengan kromatografi ion dan NO_2 dengan spektrofotometer.

2.2 Sampling gas

Sampling menggunakan metode pasif dengan *passive sampler* dari CSIRO Australia¹⁵, yaitu secara penyerapan dengan larutan kimia. Pengambilan sampel gas-gas NO₂, NH₃, O₃ dan SO₂ dilakukan pada waktu yang bersamaan.



Gambar 1. Lokasi sampling di Semarang. Keterangan karakteristik wilayah berdasarkan Rencana Tata Ruang Kota Semarang Tahun 2010-2030¹⁴

- Pantai Marina (Utara): laut); perkantoran, perdagangan, jasa, transportasi (6°57,0' S; 110° 23,4' BT)
- Green roof Ciputra Mall, Sim pang Lima (Pusat Kota): perdagangan/ urban, transportasi: (6° 51,5' S 110° 25,5' BT)
- Kantor Camat Pedurungan (Tenggara): sub urban; perdagangan, transportasi (7° 0,7' S; 110° 27,9' BT)
- Banyumanik, Kantor Badan Lingkungan Hidup (BLH) Prov. Jateng (Selatan): rural, perkantoran; (7° 3,6' S; 110° 24,7' BT)

2.3 Preparasi sampel

Untuk *sampling* gas-gas NO₂, NH₃, O₃ dan SO₂ dipersiapkan larutan penyerap seperti dijelaskan berikut. Pembuatan larutan penyerap NO₂ adalah melarutkan 0,44 gram NaOH dan 3,95 gram NaI dengan sedikit air murni di dalam labu ukur 50 mL. Kemudian terakhir ditambahkan metanol sampai tanda batas 50 mL. Larutan penyerap NO₂ sebanyak 50 µL diteteskan pada filter Whatman No 40 yang terdapat dalam *passive sampler*.

Pembuatan larutan penyerap NH₃ adalah 0,5 gram asam sitrat dilarutkan dengan sedikit air murni dalam labu ukur 25 mL (agar mudah larut). Kemudian ditambahkan aseton sampai tanda batas 25 mL. Sebanyak 50 µL larutan penyerap NH₃ diteteskan pada filter Whatman No 40.

Gas O₃ akan diserap oleh larutan K₂CO₃ dan NaNO₂. Maka dilakukan pembuatan larutan penyerap O₃ dengan mencampurkan 0,25 gram K₂CO₃ (kalium karbonat) dan 0,25 gram NaNO₂ (natrium nitrit) dalam labu ukur 50 mL, ditambah sedikit air murni (*aquadest*) dan dikocok hingga K₂CO₃ dan NaNO₂ larut. Kemudian ditambahkan 1 mL gliserol dan 15 mL metanol, dan 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*.

SO₂ diserap oleh larutan aktif NaOH sebanyak 50 µL dalam filter Whatman No 40. Pembuatan larutan penyerap SO₂ adalah melarutkan 0,5 gram NaOH dengan sedikit air murni dalam labu ukur 50 mL. Kemudian ditambahkan metanol sampai tanda batas tersebut.

Filter yang mengandung gas NO₂, NH₃, O₃ dan SO₂ dilarutkan dalam 5 mL air murni selama 24 jam dan selanjutnya ekstrak sampel O₃, NH₃ dan SO₂ ditentukan dengan kromatografi ion. Air murni dengan Daya Hantar Listrik (DHL) < 1 µS/cm harus digunakan untuk pembuatan larutan penyerap dan pelarut lainnya.

2.4 Analisis Sampel

Selanjutnya 68 sampel gas NO₂, NH₃, O₃ dan SO₂ yang terkumpul dianalisis di laboratorium Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN. Penentuan O₃ dan SO₂ berdasarkan analisis NO₃⁻ dan SO₄²⁻ dengan kromatografi ion Dionex IS 1500. Adapun penentuan NH₃ berdasarkan analisis NH₄⁺ dengan Dionex IS 1600. Eluen yang digunakan adalah NaOH dan *Methyl Sulfonic Acid* (MSA) untuk anion dan kation, secara berurutan. Untuk penentuan anion dan kation menggunakan limit deteksi 1 umol/L.

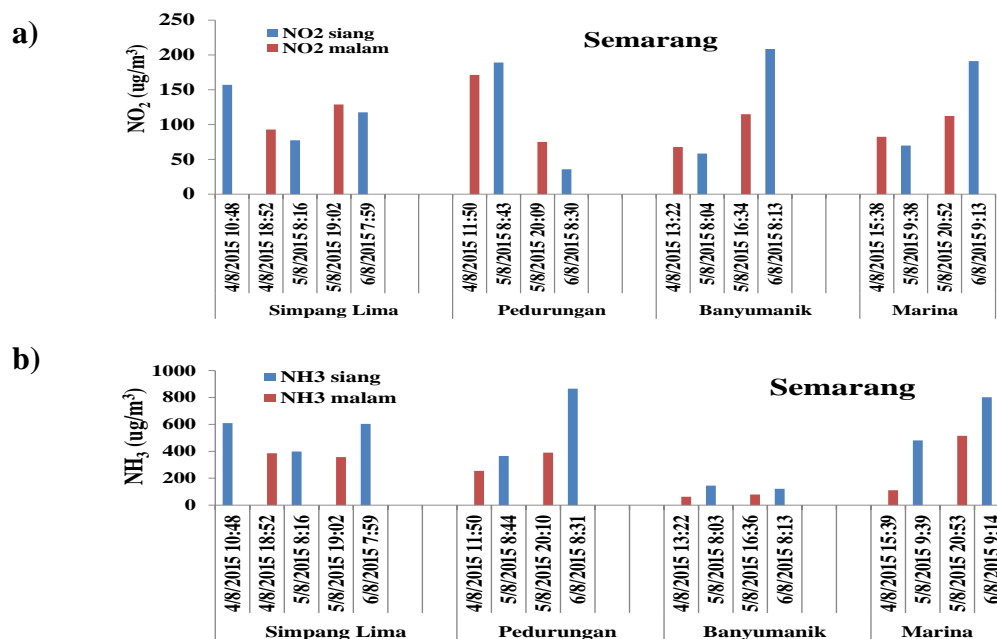
Ekstrak sampel NO₂ dianalisis dengan spektrofotometer (Spectronic 20D) menggunakan metode *N-(1-Naphthyl)ethylene-diamine dihydrochloride* (NEDA) dan larutan *sulfanilamide*. Limit deteksinya adalah < 0,2 umol/L.

2.5 Analisis Trayektori Massa Udara

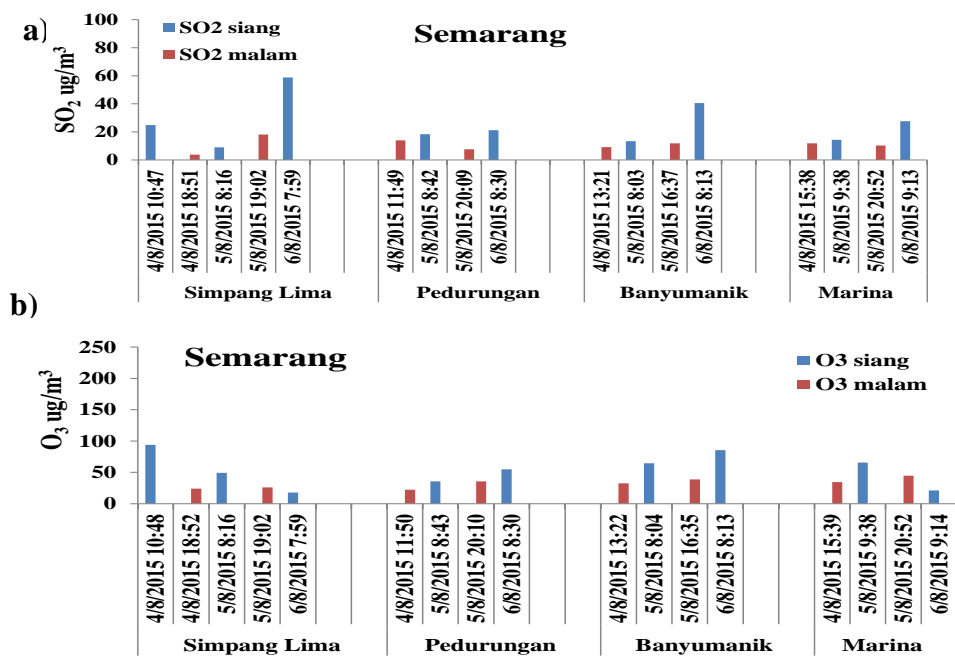
Analisis trayektori massa udara menggunakan perangkat model HYSPLIT dari NOAA USA. Model di-*running* dengan sistem *Real-Time Environmental Applications and Display* (READY) yaitu sistem yang dikembangkan oleh the *Air Resources Laboratory* (ARL-NOAA)¹⁶ untuk mengetahui asal sumber polutan secara mundur (*backward*) maupun arah penyebaran polutan (*forward*) yang mempengaruhi suatu daerah. READY dapat digunakan untuk *running* trayektori dengan sumber banyak lokasi atau sumber satu lokasi, dan kajian model dispersi juga menampilkan data meteorologi seperti tekanan, temperatur, kelembapan udara, topografi.^{17,18} Model yang digunakan untuk identifikasi sumber yang mempengaruhi kota Semarang adalah model trayektori normal dengan perhitungan *matrix* sebagai lintasan *matrix* (ruang) untuk trayektori mundur (*back trajectory*) dari massa udara. Lintasan matrik akan menjalankan grid lintasan yang dibatasi oleh dua lokasi sumber pertama (lintasan 1 adalah titik grid kiri bawah dan lintasan 2 adalah titik grid kanan atas). Selanjutnya merata dengan selisih jaringan yang diberikan oleh jarak antara titik rendah kiri grid (lintasan 2) dan lintasan 3 (titik grid berikutnya). Ketinggian yang digunakan adalah 100 m.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

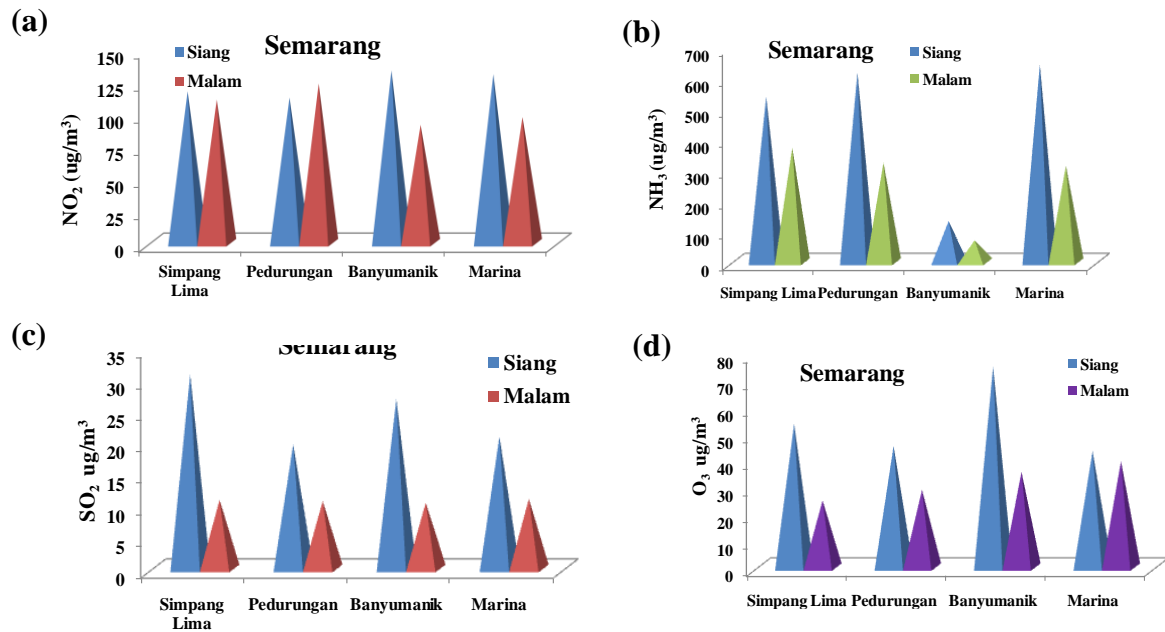
3.1 Gas NO₂, NH₃, SO₂ dan O₃



Gambar 2. Time series dari: a) NO₂ dan b) NH₃ di Semarang dari tanggal 4 sampai 6 Agustus. Satuan = µg/m³



Gambar 3. Time series dari: a) SO₂ dan b) O₃ di Semarang dari tanggal 4 sampai 6 Agustus. Satuan = µg/m³



Gambar 4. Distribusi siang dan malam dari: (a) NO_2 ; (b) NH_3 ; (c) SO_2 ; dan (d) O_3 di Semarang dari tanggal 4 sampai 6 Agustus. Satuan = $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Berdasarkan Gambar 2 dan 3 dapat diketahui bahwa masing-masing lokasi mempunyai konsentrasi yang bervariasi. Konsentrasi NO_2 didapati tinggi secara rata-rata yaitu $114,68 \pm 31,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk daerah transportasi Simpang Lima dan $117,83 \pm 74,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk Pedurungan di Semarang. Nilai konsentrasi NO_2 juga tinggi di Banyumanik dan pantai Marina yaitu $112,33 \pm 68,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $113,94 \pm 54,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Banyumanik sebagai daerah pedesaan ternyata mempunyai konsentrasi NO_2 yang hampir sama dengan daerah Simpang Lima. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya perpindahan massa udara yang membawa NO_2 dari daerah sumber ke penerima. Letak Kec. Banyumanik bersebelahan dengan Kec. Candisari dimana terdapat kawasan industri Gajah Mungkur. Tanggal 4 sampai 6 Agustus 2015 pada siang-malam hari angin berasal dari utara-timur laut (sumber data angin dari OGIMET)¹⁹, jadi konsentrasi NO_2 yang cukup tinggi dipengaruhi oleh emisi dari kawasan industri di utaranya. Maka akan dibahas sumber asal yang memberikan kontribusi NO_2 dengan trayektori mundur. Konsentrasi NO_2 di Semarang masih di bawah nilai baku mutu udara ambien nasional untuk untuk 24 jam yaitu $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.²⁰ Konsentrasi NO_2 yang tinggi di pusat kota Jakarta berhubungan dengan jumlah kendaraan yang tinggi pula.²¹ Hal ini signifikan dengan hasil emisi dari pembakaran bahan bakar fosil yang dipergunakan oleh transportasi. Transportasi menyumbangkan emisi NO_2 sebesar 80% dari total NO_2 ke udara.²²

Di Marina, konsentrasi rata-rata NH_3 adalah tertinggi yaitu $477,38 \pm 283,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan terkecil didapati di Banyumanik sebesar $101,56 \pm 37,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Gambar 3). Adapun daerah Simpang Lima ternyata mempunyai konsentrasi rata-rata NH_3 yang hampir sama dengan pantai Marina yaitu $471,16 \pm 125,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sumber NH_3 berasal dari hasil emisi pemupukan dengan pupuk industri (misalnya urea yang mengandung NH_3 , juga pupuk *Nitrogen phosphorous and potassium* (N-P-K), kotoran hewan, limbah sampah organik, juga dari proses-proses industri. Sebagian besar emisi NH_3 disebabkan pemecahan pupuk hewan (kotoran hewan). Di sisi utara agak ke timur, air lautnya sedikit kecoklatan saat musim hujan, karena di sisi timur pantai ini bermuaranya sungai banjir kanal barat. Daerah hulu bermuaranya sungai akan mengemisikan amonia ke atmosfer. Sumber amonia di perairan adalah hasil pemecahan nitrogen organik (protein dan urea) dan

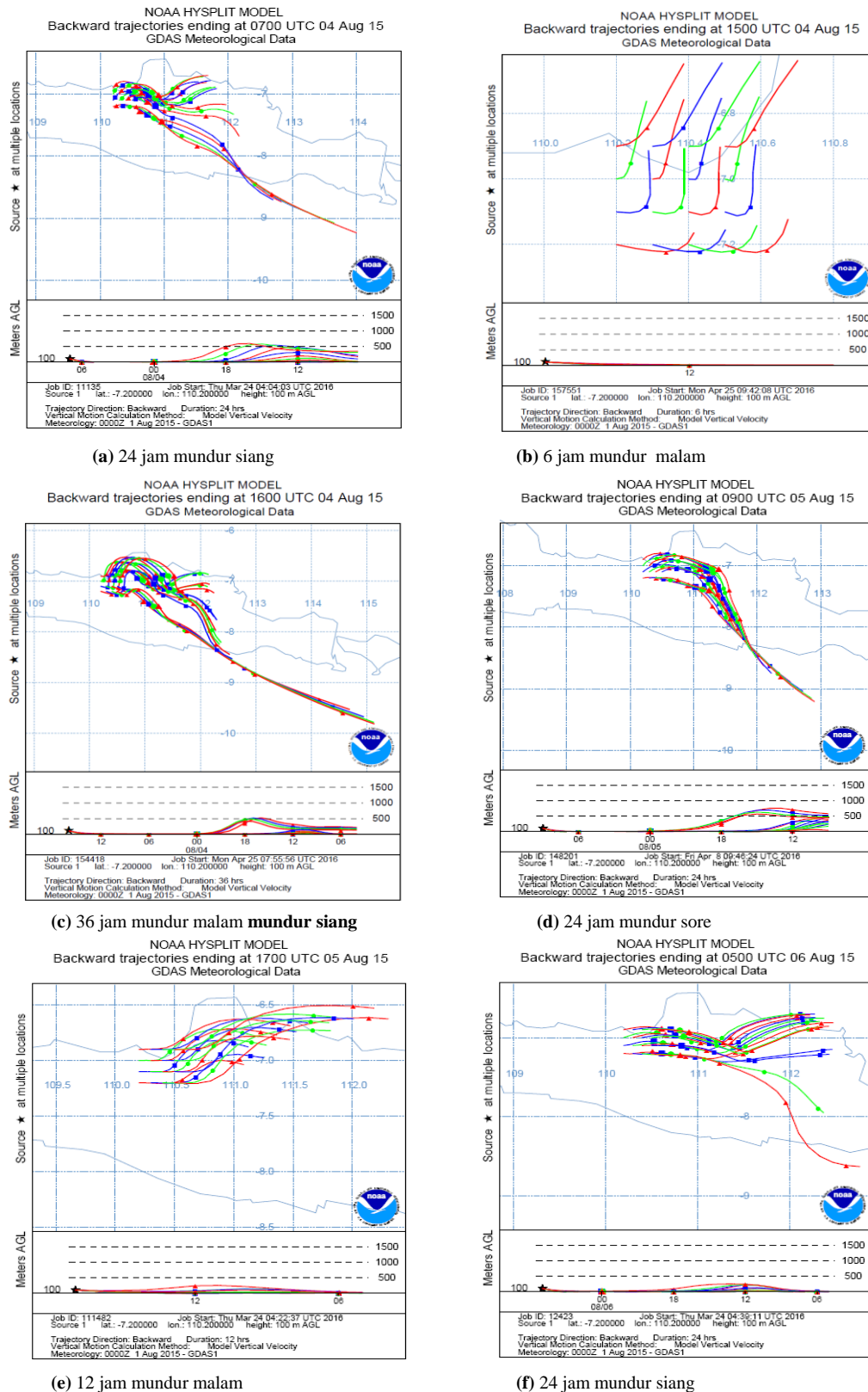
nitrogen anorganik yang terdapat dalam tanah dan air, juga berasal dari dekomposisi bahan organik (tumbuhan dan biota akuatik yang telah mati) yang dilakukan oleh mikroba dan jamur yang dikenal dengan istilah amonifikasi. Sumber terbesar emisi NH_3 adalah pertanian dengan penggunaan pupuk berbasis NH_3 (seperti urea), dan peternakan. Sumber-sumber lain dari NH_3 adalah proses industri (pembuatan pupuk), emisi kendaraan dan penguapan dari tanah dan lautan.⁸ Oleh sebab itu, Pantai Marina mempunyai konsentrasi NH_3 yang tinggi. Pada tanggal 6 Agustus 2015 didapati konsentrasi NH_3 adalah yang tertinggi di empat lokasi dibandingkan tanggal pengamatan lainnya. Untuk mengetahui sumber yang mempengaruhi konsentrasi NH_3 di Semarang, maka sebaiknya dilakukan analisis lintasan mundur (*back trajectory*) dari massa udara.

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 dari kawasan industri Gajah Mungkur Candisari di utara kota Semarang, mengingat Banyumanik adalah daerah pedesaan (*rural*). Potensi industri pengguna batubara dan minyak berkadar sulfur tinggi akan sangat besar dalam menyumbangkan SO_2 ke udara.²³ Berdasarkan data angin dari OGIMET¹⁹ selama tanggal 4 sampai 6 Agustus 2015 siang-malam hari angin berasal dari utara-timur laut, jadi konsentrasi SO_2 yang cukup tinggi dipengaruhi oleh emisi dari kawasan industri di utaranya. Konsentrasi SO_2 masih di bawah nilai baku mutu udara ambien nasional untuk 24 jam yaitu $365 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.²⁰

Gambar 4 memperlihatkan bahwa 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 prekursor seperti *Volatile organic compounds* (VOCs) dan *Non-methane VOCs* (NMVOCs) yang melimpah. VOCs seperti metana berasal dari sumber *wetlands*, *livestock*, gas alam dan NMVOCs berasal sumber tanaman, pembakaran.²⁴ Sedangkan Simpang Lima adalah daerah perdagangan dengan jumlah transportasi tinggi ternyata mempunyai konsentrasi rata-rata O_3 sebesar $42,17 \pm 31,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tertinggi ke-dua setelah Banyumanik. Di daerah perdagangan O_3 dibentuk oleh proses fotokimia dari foton sinar matahari dengan HC, NO dan CO sebagai prekursor.²⁵ Adapun Pantai Marina yang terletak di utara Semarang mempunyai konsentrasi O_3 sebesar $41,56 \pm 18,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kualitas udara untuk konsentrasi O_3 masih di bawah baku mutu, mengingat nilai baku mutu udara ambien nasional O_3 adalah $235 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk 1 jam.²⁰

3.2 Analisis Trayektori Massa Udara

Untuk mengindikasikan asal sumber polutan yang mempengaruhi kualitas udara Semarang digunakan model HYSPLIT. Model trayektori HYSPLIT dijalankan dengan trayektori normal perhitungan secara matrik untuk *backward trajectory* (trayektori mundur) dengan angin pada ketinggian 100 m (angin permukaan). Pada tanggal 4 dan 6 Agustus 2015 polutan terlihat tinggi di semua lokasi pengamatan, maka berdasarkan trayektori massa udara akan dapat dilihat sumber yang menyebabkannya. Ada enam contoh *back trajectory* pada ketinggian 100 m dimana polutan sampai di Semarang selama siang dan malam dari tanggal 4 sampai 6 Agustus 2015 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Trajektori mundur (*backward*) massa udara berdasarkan: (a) 24 jam mundur dan tiba siang 4 Agustus, (b) 6 jam mundur dan tiba malam 4 Agustus, (c) 36 jam mundur dan tiba malam 5 Agustus, (d) 24 jam mundur dan tiba sore 5 Agustus (e) 12 jam mundur dan tiba malam 5 Agustus, (f). 24 jam mundur dan tiba siang 6 Agustus, pada 2015 di Semarang.

Berdasarkan trayektori mundur (Gambar 5(a) dan 5(b)) sumber dari massa udara berasal dari bagian tenggara Semarang. Polutan yang tiba di Semarang pada siang hari tanggal 4 Agustus 2016, seperti Banyumanik, Simpang Lima, Pedurungan dan pantai Marina di bagian utara dalam 12 jam membawa material dari sumber daratan (Gambar 5(a)). Sedang polutan yang tiba dalam durasi 24 jam ternyata berasal dari sumber laut selatan (Laut Hindia) yang membawa material laut seperti amonia dan DMS dari laut.³ Demikian pula lintasan mundur (6-12 jam) ke belakang yang tiba di Semarang pada malam tanggal 4 dan 5 Agustus 2015 telah membawa mineral laut dari laut Jawa (utara) (Gambar 5 (b)). Sedangkan lintasan mundur 36 jam ke belakang yang tiba malam hari pada tanggal tersebut membawa polutan dari Laut Hindia (selatan) seperti diperlihatkan pada Gambar 5 (c). Gambar 5 (e) memperlihatkan lintasan mundur 12 jam dan massa udara berasal dari sumber Laut Jawa tiba di Semarang pada malam tanggal 5 Agustus 2015 membawa material laut seperti amonia dan DMS. Ternyata sumber material laut dari utara dan selatan berperan dalam menyumbangkan NH_3 terlihat dari konsentrasinya yang cukup tinggi di kota Semarang dari empat lokasi pengamatan. Selain itu juga mempengaruhi konsentrasi SO_2 di Semarang selain dari transportasi. Hal ini dibuktikan dengan nilai konsentrasi SO_2 yang merata pada malam hari di empat lokasi pada 10,44-11,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil pelaporan dari NASA (Juli 2015) bahwa letusan gunung Raung di Jawa Timur pada tanggal 27 Juli 2015 mencapai ketinggian 4-5 kilometer dan melayang 100-200 km.²⁶ Hal ini berpotensi dalam mempengaruhi konsentrasi SO_2 di seluruh Pulau Jawa.

Pada tanggal 6 Agustus 2016 terlihat bahwa konsentrasi NO_2 , NH_3 , SO_2 dan O_3 di semua lokasi pengamatan, disebabkan kemungkinan adanya perpindahan maasa udara yang membawa polutan dari arah timur Semarang sampai perbatasan Jawa Tengah-Jawa Timur dan laut utara. Pantai utara Pulau Jawa adalah daerah padat transportasi lintas utara (Pantura), jadi merupakan sumber NO_2 , SO_2 serta potensi terbentuknya O_3 dari NO_x hasil pembakaran bahan bakar minyak.

4. KESIMPULAN

Gas NH_3 lebih dominan di Semarang dibandingkan gas-gas lainnya yaitu NO_2 , SO_2 dan O_3 . Konsentrasi rata-rata dari polutan berurutan dari tinggi ke rendah adalah $\text{NH}_3 > \text{NO}_2 > \text{O}_3 > \text{SO}_2$. Berdasarkan hasil identifikasi trayektori mundur didapatkan bahwa sumber polutan dari tenggara kota Semarang menyumbangkan NO_2 , SO_2 , O_3 dan NH_3 pada siang hari pada bulan Agustus 2015. Selain itu sumber polutan dari utara (kawasan industri dan laut) mempengaruhi kualitas udara di kota Semarang pada malam hari pada bulan Agustus 2015 tersebut. Sumber dari utara dalam 6-12 jam mempengaruhi kualitas udara di kota Semarang pada malam hari pada bulan Agustus. Laut Jawa di pantai utara memberikan kontribusi NH_3 cukup signifikan, terlihat dari konsentrasinya yang tinggi. Pada siang hari polutan dibawa oleh massa udara dari tenggara atau Laut Hindia dan berakhir di Semarang dalam 24 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada BLH Kota Semarang, BPLHD Prov. Jawa Tengah, Kecamatan Pendurungan, Manajemen Ciputra Mall, Ir. Trully Rudiarmo, Kepala PSTA dan pihak-pihak lainnya yang telah membantu pelaksanaan pemantauan di Semarang. Penelitian ini didanai oleh dana APBN Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN tahun 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Smith, S. J., J. van Aardenne, Z. Klimont, R.J. Andres, A. Volke, and S. Delgado Arias, 2011. Anthropogenic sulfur dioxide emissions: 1850–2005. *S. Atmos. Chem. Phys.*, 11, 1101–1116.
- ²Meng, Z., X. Xu, T. Wang, X. Zhang, X. Yu, S. Wang, W. Lin, Y. Chen, Y. Jiang, X. 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.
- ³Berresheim, H., J.W. Huey, R.P. Torn, F.L. Eisele, D.J. Tannera, A. Jefferson, 1998. Measurements of dimethyl sulfide, dimethyl sulfoxide, dimethyl sulfone, and aerosol ions at Palmer Station, Antarctica. *Journal of Geophysical Research* Vol. 103, NO. D1, pages 1629–1637, January 20.
- ⁴Ward, P.L., 2009. Sulfur dioxide initiates global climate change in four ways. *Thin Solid Films* 517, 3188–3203. journal homepage: www.elsevier.com/locate/tsf.
- ⁵Graf H. F., J. Feichter, and B. Langmann, 1997. Volcanic sulfur emissions: Estimates of source strength and its contribution to the global sulfate distribution. *Journal of Geophysical Research* Volume 102, Issue D9, 20 May 1997, Pages 10727–10738.
- ⁶Clarisse, L., C. Clerbaux, F. Dentener, D. Hurtmans, P.F. Coheur, 2009. Global ammonia distribution derived from infrared satellite observations. *Nature Geoscience* 2,479e483.
- ⁷Aneja, V.P., J.P. Chauhan, and J.T. Walker, 2000. Characterization of atmospheric ammonia emissions from swine waste storage and treatment lagoons. *Journal of Geophysical Research* 105,11535e11545.
- ⁸Behera, S.N., M. Sharma, V.P. Aneja, and R. Balasubramanian, 2013. Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies. *Environ Sci. Pollut. Res* 20:8092–8131, DOI 10.1007/s11356-013-2051-9.
- ⁹Meszaros, E., 1981. *Atmospheric Chemistry Fundamental Aspects*. Elsevier Scientific Publishing Company, 119–120.
- ¹⁰Anderson 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.
- ¹¹Tang A., G., Zhuang, Y. Wang, H. Yuan, and Y. Sun, 2005. The Chemistry of precipitation and its relation to aerosol in Beijing. *Atmospheric Environment* V. 39, pp. 3397–3406.
- ¹²Milukaite, A., A. Mikeliniskiene, and B. Giedraitis, 2000. *Characteristics of SO₂, NO₂, Soot and Benzo(a)pyrene Concentration Variation on the Eastern Coast of the Baltic Sea, Acid Rain 2000*. Proceeding from the 6th International Conference on Acidic Deposition: Looking back to the past and thinking of the future, Tsukuba, Japan, 10–16 December 2000, Vol. III, 1553–1558.
- ¹³Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Semarang, 2009. Kota Semarang Dalam Angka Tahun 2009.
- ¹⁴RPJMD Kota Semarang, 2011. Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Semarang Tahun 2010–2015 II - 1 BAB II GAMBARAN UMUM KONDISI DAERAH, (<http://www.semarangkota.go.id/portal/RPJMD2011/BAB2.pdf>).
- ¹⁵Powell, J., 2007. Chemlab Wet Chemistry Measurement Work, *Instruction Manual for NATA Accredited Laboratories*, CSIRO Marine and Atmospheric Research Aspendale Laboratories, 109 hal.
- ¹⁶ARL (Air Resources Laboratory) NOAA, 2016, (<https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>).
- ¹⁷Kulshrestha U. and B. Kumar, 2014. Airmass Trajectories and Long Range Transport of Pollutants: Review of Wet Deposition Scenario in South Asia. Review Article Hindawi Publishing Corporation *Advances in Meteorology* Volume 2014, Article ID 596041, 14 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/596041>.
- ¹⁸Kumar B., S. Singh, G.P. Gupta, F.A. Lone, U.C. Kulshrestha, 2015. Long Range Transport and Wet Deposition Fluxes of Major Chemical Species in Snow at Gulmarg in North Western Himalayas (India) *Aerosol and Air Quality Research*, 16: 606–617, 2016 Copyright © Taiwan Association for Aerosol Research ISSN: 1680-8584 print / 2071-1409 online doi: 10.4209/aaqr.2015.01.0056.
- ¹⁹OGIMET, 2015. Professional information about meteorological conditions in the world, (<http://www.ogimet.com/>, diunduh 11 Nopember 2015).
- ²⁰Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PPRI), 1999. *Tentang Pengendalian Pencemaran Udara PP Nomer 41 Tahun 1999*.
- ²¹Hamonangan, E., A. Kondo, A. Kaga, Y. Inoue, S. Soda, and K. Yamaguchi, 2003. Retrieval of Emission Loads from Measured Nitrogen Oxide Concentrations in Jakarta City. *Clean Air and Environmental Quality* 37 No. 2, 32–37.
- ²²Achmadi, U.F., 1996. Public Health Implications of Environmental Pollution in Urban Indonesia. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 5.3. 141–144.
- ²³Graedel T.E., and P.J. Crutzen, 1993. *Atmospheric Change and Earth System Perspective*. New York : WH Freeman and Company, hal. 238.

- ²⁴Horowitz, L., 2012. Atmospheric Chemistry in AM3, *GFDL Summer School on Atmospheric Modeling*, GFDL/NOAA Princeton University July 19, diunduh 2014.
- ²⁵Cardelino, C.A. and W.L. Chameides, 2012. An Observation-Based Model for Analyzing Ozone Precursor Relationships in the Urban Atmosphere. *Journal of the Air & Waste Management Association*, ISSN: 1096-2247 (Print) 2162-2906 (Online).
- ²⁶ Allen J., 2005. NASA image using data provided courtesy of the NCAR and University of Toronto MOPITT Teams. Earth Observatory-NASA.