

**ANALISIS HUBUNGAN AKTIVITAS KENDARAAN BERMOTOR TERHADAP
KONSENTRASI SO₂ DAN NO₂ DI UDARA AMBIEN
(STUDI KASUS: JL. PANEMBAHAN SENOPATI YOGYAKARTA)**

Sri Hastutiningrum¹, Sri Sunarsih², Imelda³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Lingkungan, IST AKPRIND Yogyakarta

Email: ¹hastuti19@akprind.ac.id, ²srisunarsih@akprind.ac.id, ³imeltraveller@gmail.com

Masuk: 13 Juli 2018, Revisi masuk: 21 Juli 2018, Diterima: 22 Juli 2018

ABSTRACT

The aims of this study is to determine the correlation between vehicle traffic activity and the effect of sampling time on the SO₂ and NO₂ concentration in ambient air. The sampling location is on Jl. Senopati Yogyakarta.

Sampling was carried out by an air absorption tool with 1.5-meter-high auxiliary from the ground. To measure SO₂ using Pararosanilin method and Griess Saltzman method for NO₂. The stages of this study begin with the preparation of TCM absorption solutions for SO₂, Griess Saltzman absorbent solution for NO₂, calibration curve manufacture, and vehicle volume calculation. Determination of concentration is done by UV-Vis spectrophotometer Thermo Scientific Genesys 20. Time sampling is divided into weekdays (Tuesday-Wednesday) and weekend (Saturday-Sunday) with sampling time on 03.00-04.00, 07.00-08.00 a.m, and 12.00-01.00, 04.00-05:00 and 07.00-08.00 p.m.

The result of the study shows that the concentration of SO₂ and NO₂ in ambient air is not related (correlated) with vehicle activity at Jl. Senopati Yogyakarta, as well as sampling time that did not affected. The highest SO₂ concentration was recorded at 232,05µg/Nm³ while the highest NO₂ concentration was 17.9522 µg/Nm³. Both is not exceed of air quality standard 900µg/Nm³ and 400 µg/Nm³.

Keywords: SO₂, NO₂, ambient air, sampling time, vehicle volume.

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara aktivitas kendaraan bermotor dan pengaruh waktu *sampling* terhadap konsentrasi SO₂ dan NO₂ di udara ambien. Lokasi *sampling* berada di Jalan Senopati Yogyakarta. *Sampling* dilakukan dengan alat jalur absorpsi udara dengan ketinggian alat diatur setinggi 1,5 m dari tanah. Pengukuran SO₂ menggunakan metode Pararosanilin dan *Griess Saltzman* untuk NO₂.

Tahap dari penelitian ini dimulai dengan pembuatan larutan penjerap TCM untuk SO₂, larutan penjerap *Griess Saltzman* untuk NO₂, pembuatan kurva kalibrasi, dan penghitungan volume kendaraan. Penentuan konsentrasinya dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis Thermo Scientific Genesys 20. Waktu *sampling* dibagi menjadi hari kerja (Selasa-Rabu) dan hari libur (Sabtu-Minggu) dengan jam *sampling* pukul 03.00-04.00, 07.00-08.00, 12.00-13.00, 16.00-17.00, dan 19.00-20.00 WIB.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi penelitian konsentrasi SO₂ dan NO₂ di udara ambien tidak berhubungan (berkorelasi) dengan tingkat aktivitas kendaraan bermotor di Jalan Senopati Yogyakarta, begitu pula waktu *sampling* yang tidak berpengaruh. Konsentrasi SO₂ tertinggi tercatat sebesar 232,05 µg/Nm³. Keduanya tidak melampaui baku mutu udara ambien DIY yaitu 900 µg/Nm³ dan 400 µg/Nm³.

Kata-kata kunci: SO₂, NO₂, Udara ambien, Waktu *sampling*, Volume kendaraan.

PENDAHULUAN

Pencemaran Udara

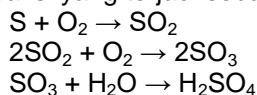
Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) udara merupakan campuran berbagai gas yang tidak

berwarna dan tidak berbau (seperti oksigen dan nitrogen) yang memenuhi ruang di atas bumi seperti yang dihirup oleh manusia saat bernapas, ruang di atas bumi yang berisi hawa; angkasa,

keadaan hawa atau cuaca. Udara dalam istilah meteorologi disebut dengan atmosfer. Atmosfer merupakan campuran gas-gas yang tidak bereaksi satu dengan yang lainnya, atau dalam kata lain bersifat *innert* (Wiyandari, 2010). Udara yang dihirup oleh manusia sehari-hari merupakan udara ambien. Menurut Badan Standarisasi Nasional udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya.

Menurut Hadi (2015), secara umum pengambilan sampel udara ambien diperuntukkan pada daerah pemukiman penduduk, perkantoran, kawasan sekitar industri, atau daerah lain yang dianggap penting untuk mengetahui kualitas udara ambien akibat suatu kegiatan tertentu. Tidak pernah ditemukan di alam udara yang bebas dari pencemaran, sedangkan kualitas udara yang baik sangat diperlukan oleh makhluk hidup. Menurunnya kualitas udara akibat terjadinya pencemaran di suatu wilayah seringkali baru dirasakan setelah dampaknya menyebabkan gangguan kesehatan makhluk hidup termasuk pada manusia (Wardani, 2012).

Lapisan troposfer merupakan lapisan yang paling mudah mengalami pencemaran. Salah satu akibat dari pencemaran udara adalah terjadinya fenomena hujan asam (*acid rain*). Hujan asam dapat terjadi ketika gas emisi belerang oksida (SO_x) bereaksi dengan uap air (H_2O) dibantu oleh cahaya matahari dan berubah menjadi senyawa asam seperti asam sulfat (H_2SO_4). Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Senyawa tersebut bersama dengan senyawa kimia lainnya akan berada di bumi sebagai aerosol-aerosol dan partikulat-partikulat atau dapat juga turun bersama hujan, salju, kabut atau embun.

Atmosfer bumi memiliki 4 lapisan yaitu troposfer, stratosfer, mesosfer, dan termosfer. Udara yang dihirup oleh manusia berada pada lapisan troposfer. Komposisi udara di lapisan troposfer

terdiri dari 78% nitrogen (N_2), 21% oksigen (O_2), 1% argon (Ar), dan 0,03% karbon dioksida (CO_2), dan beberapa gas lainnya yang mempunyai sifat lembab. Tabel 1 menampilkan beberapa komposisi udara di atmosfer.

Tabel 1. Konsentrasi Gas di Atmosfer Bumi

Gas atau Uap	Konsentrasi (%)
Nitrogen (N_2)	78
Oksigen (O_2)	21
Argon (Ar)	0,9
Uap air (H_2O)	$1 \times 10^{-5} - 3$
Karbon dioksida	$3,7 \times 10^{-2}$
Neon (Ne)	$1,818 \times 10^{-3}$
Kripton (Kr)	$1,14 \times 10^{-4}$
Metana (CH_4)	$1,72 \times 10^{-4}$
Helium (He)	$5,24 \times 10^{-4}$
Ozon (O_3)	2×10^{-3}
Dinitrogen oksida (N_2O)	$3,3 \times 10^{-5}$
Hidrogen (H_2)	5×10^{-5}
Karbon monoksida (CO)	$1,1 \times 10^{-5}$
Amonia (NH_3)	4×10^{-7}
Nitrogen dioksida (NO_2)	1×10^{-7}
Sulfur dioksida (SO_2)	1×10^{-7}
Nitrit oksida (NO)	5×10^{-9}
Hidrogen sulfide (H_2S)	5×10^{-9}

Sumber: Godish (2004)

Menurut Permen LH No. 12 Tahun 2010 tentang pelaksanaan pengendalian pencemaran udara di daerah, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga melampaui baku mutu udara yang telah ditetapkan. Menurut Soedomo (2001) udara merupakan faktor penting dalam kehidupan, namun dengan meningkatnya pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, kualitas udara telah mengalami perubahan. Perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan pencemaran udara, yaitu masuknya zat pencemar (berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol) ke dalam udara.

Pengaruh Sulfur Oksida (SO_x) Terhadap Lingkungan Pengaruh SO_x Terhadap Manusia

Menurut Fardiaz (1992), tumbuhan memiliki tingkat sensitivitas terhadap

polutan SO_x jauh lebih tinggi dibanding sensitivitas manusia dan hewan. Pengaruh utama polutan SO_x terhadap manusia adalah iritasi sistem pernafasan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa iritasi tenggorokan terjadi pada konsentrasi SO_2 sebesar 5 ppm atau lebih, bahkan pada beberapa individu yang sensitif iritasi terjadi pada konsentrasi 1-2 ppm. SO_2 dianggap polutan yang berbahaya bagi kesehatan terutama terhadap orang tua dan penderita yang mengalami penyakit kronis pada sistem pernafasan dan kardiovaskular. Individu dengan gejala tersebut sangat sensitif terhadap kontak dengan SO_2 , meskipun dengan konsentrasi yang relatif rendah, misalnya 0,2 ppm atau lebih. Seperti H_2SO_4 , SO_2 dan garam sulfat dapat mengakibatkan iritasi mukus membran pada saluran pernafasan yang dapat berkembang ke penyakit saluran pernafasan kronis, *particular bronchitis*, dan *emphysema pulmonary*.

Pengaruh SO_x Terhadap Tumbuhan

Selain berdampak pada manusia, SO_2 juga berdampak pada tumbuhan. Paparan gas SO_2 secara akut dengan konsentrasi tinggi dapat mematikan jaringan daun pada tumbuhan dimana kondisi ini disebut *necrosis* pada daun. Sedangkan paparan gas SO_2 secara kronis dapat menyebabkan daun yang biasanya berwarna hijau mengalami *bleaching* maupun menguning, kondisi ini disebut *chlorosis* (Manahan, 2010).

Menurut Fardiaz (1992) kerusakan tanaman oleh SO_2 dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu konsentrasi SO_2 dan waktu kontak. Kerusakan tiba-tiba (akut) terjadi dengan gejala beberapa bagian daun menjadi kering dan mati dan biasanya warnanya memucat. Kerusakan kronis (kontak dalam waktu lama dengan konsentrasi rendah) menyebabkan daun menguning karena terhambatnya mekanisme pembentukan klorofil. Kerusakan akut pada tanaman disebabkan kemampuan tanaman untuk mengubah SO_2 yang diabsorpsi menjadi menjadi H_2SO_4 kemudian menjadi sulfat. Garam-garam tersebut terkumpul pada ujung atau tepi daun. Sulfat yang

terbentuk pada daun berkumpul dengan sulfat yang diabsorpsi melalui akar, dan jika akumulasi cukup tinggi, terjadi gejala kronis yang disertai dengan gugurnya daun. Tingkat sensitivitas tanaman bervariasi dari spesies ke spesies terhadap kerusakan SO_2 . Meskipun dalam satu spesies, terjadi perbedaan sensitivitas yang disebabkan oleh kondisi lingkungan seperti suhu, air tanah, konsentrasi nutrisi, dan sebagainya.

Nitrogen Oksida (NO_x)

Terdapat sejumlah gas dan senyawa partikulat nitrogen (N) di atmosfer. Gas dan senyawa partikulat tersebut termasuk N_2 , N_2O , NO, NO_2 , nitrat radikal (NO_3), N_2O_5 , HNO_2 , asam nitrit (HNO_3), nitrat organik seperti *peroxyacyl* nitrat ($CH_3COO_2NO_2$) yaitu PAN, dan sedikit senyawa N seperti NH_3 dan HCN. Dalam bentuk ion, NO_2^- , NO_3^- , dan NH_4^+ ditemukan dalam bentuk cairan.

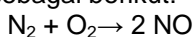
Nitrogen merupakan gas yang paling banyak terdapat di atmosfer. Pada kondisi ambien, nitrogen relatif tidak bersifat reaktif dan tidak berperan langsung dalam reaksi kimia di atmosfer. Namun, sebagai hasil dari reaksi pembakaran dan proses biologi, nitrogen menjadi pelopor molekul untuk menghasilkan NO dan NO_2 yang sangat berperan secara signifikan dalam reaksi kimia yang terjadi di lapisan troposfer dan stratosfer. Karena NO dan NO_2 mudah berubah bentuk dari bentuk satu ke bentuk lainnya, maka NO dan NO_2 dinyatakan sebagai NO_x .

Nitrogen reaktif (NO_y) termasuk senyawa NO_x maupun hasil oksidasinya (hasil samping) seperti HNO_2 , HNO_3 , NO_3 , N_2O_5 , asam *peroxynitric* (HNO_4), PAN dan sejenisnya, alkil nitrat ($RONO_2$) dan peroxyalkil nitrat ($ROONO_2$). Total NO_y adalah diukur dari total kandungan nitrogen (N) yang dioksidasi di atmosfer.

Meskipun relatif dalam konsentrasi yang rendah, NO, NO_2 , nitrat organik, gas dan partikulat asam nitrogen, dan NH_3 berperan secara signifikan pada reaksi kimia di atmosfer (terutama pada pencemaran lingkungan). Dinitrogen oksida (N_2O), nitrogen monoksida (NO), nitrogen dioksida (NO_2), dan nitrogen oksida (NO_x) merupakan polutan yang

paling banyak diperhatikan dalam hal pencemaran udara. N₂O merupakan gas yang tidak berwarna, sedikit manis, dan termasuk gas yang relatif tidak bersifat toksik. N₂O banyak digunakan sebagai obat bius. Paparan N₂O pada manusia dengan konsentrasi tinggi dapat menyebabkan semacam histeria dan gas ini sering disebut sebagai gas tertawa. N₂O diketahui tidak dapat hilang dengan sendirinya dari troposfer. Gas ini mempunyai waktu tinggal yang sangat lama (kurang lebih 150 tahun). Proses fotolisis dan oksidasi lanjut oleh oksigen tunggal (O(¹D)) di stratosfer merupakan proses satu-satunya yang diketahui sebagai mekanisme hilangnya gas tersebut di stratosfer. Dengan demikian, N₂O merupakan sumber alami utama dari NO_x di stratosfer yang berperan penting dalam reaksi kimia ozon (O₃) di stratosfer.

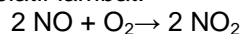
Nitrogen monoksida (NO) merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, dan relatif tidak bersifat toksik. NO dihasilkan secara alami di tanah melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi biologi dan dari hasil pembakaran biomassa, pencahayaan, dan oksidasi NH₃ dari proses fotokimia. NO juga dapat berpindah dari stratosfer ke troposfer. Kegiatan antropogenik menghasilkan NO pada pembakaran dengan suhu tinggi dengan reaksi sebagai berikut:



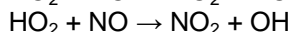
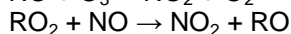
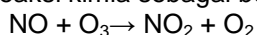
Sumber antropogenik utama yang menghasilkan NO termasuk penggunaan bensin dan diesel pada kendaraan bermotor, bahan bakar fosil, pembangkit tenaga listrik, ketel uap pada industri, insenerasi, dan kegiatan rumah tangga yang membutuhkan panas. Konsentrasi NO umumnya selalu dikaitkan dengan konsentrasi NO₂. Namun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa puncak konsentrasi NO berlangsung pada pagi hari (pukul 6-9 pagi) dan semakin menurun karena beroksidasi menjadi NO₂.

Nitrogen dioksida (NO₂) merupakan gas yang memiliki variasi warna mulai dari kuning hingga coklat tergantung konsentrasi di atmosfer. NO₂ memiliki bau yang menyengat dan bersifat iritatif,

dan karena tingkat oksidasinya yang tinggi, NO₂ relatif bersifat toksik dan korosif. NO₂ dapat dihasilkan dari beberapa proses di atmosfer. Berikut ini termasuk reaksi oksidasi langsung yang relatif lambat:



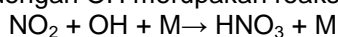
Dan beberapa reaksi fotokimia yang melibatkan O₃, RO₂ dan lebih banyak jenis hidrogen (OH, HO₂, H₂O), memiliki reaksi kimia sebagai berikut:



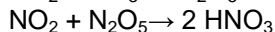
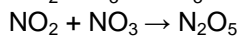
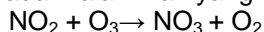
Senyawa-senyawa tersebut merupakan senyawa yang dihasilkan dari reaksi oksidasi fotokimia NO. Waktu puncak tingkat konsentrasi NO₂ di area perkotaan dan pinggiran kotabiasanya terjadi pada tengah hari.

Konsentrasi NO_x rata-rata (berdasarkan pada jumlah NO dan NO₂) yang diukur di lokasi terpencil (sedikit populasi) dilaporkan memiliki konsentrasi 0,02 hingga 0,04 ppbv di lingkungan (daerah) laut dan 0,02 hingga 10 ppbv di lingkungan hutan tropis. Konsentrasi maksimum dapat mencapai 200 ppbv pada pagi hari (pukul 6-9 pagi) di daerah perkotaan dan pinggiran kota.

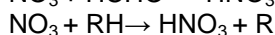
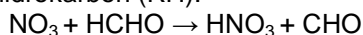
Proses hilangnya NO dan NO₂ melibatkan reaksi kimia yang mengubah NO menjadi NO₂ dan merubah NO₂ menjadi HNO₃. Proses reaksi NO₂ dengan OH merupakan reaksi utama:



NO₂ juga dapat diubah menjadi HNO₃ pada malam hari yang melibatkan O₃:

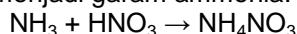


Reaksi antara O₃ dan NO₂ menghasilkan NO₃· (radikal) yang kemudian bereaksi dengan NO₂ menghasilkan N₂O₅ (yang bereaksi dengan uap air untuk menghasilkan HNO₃). Reaksi dengan asam nitrat juga menghasilkan NO₃· dan formaldehid (HCHO) atau radikal hidrokarbon (RH):

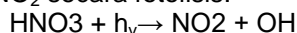


Nitrat radikal berperan penting pada proses oksidasi yang berlangsung pada waktu malam hari yang dihasilkan dari aktivitas biogenik dan menghasilkan

VOCs seperti senyawa isoprene dan pinenes yang berperan penting dalam reaksi kimia O_3 di troposfer. Nitrat radikal mudah terfotolisis oleh cahaya matahari pada kondisi seimbang antara NO_2 , NO_3 dan N_2O_5 menjadi NO_2 (NO_2 radikal). Asam nitrat tetap berada pada fase gas hingga dia bereaksi dengan NH_3 untuk menjadi garam ammonia:



Asam nitrat dan garam yang dihasilkan dapat hilang dari atmosfer melalui proses pengendapan basah maupun kering. Di lapisan troposfer bagian bawah, waktu tinggal nitrat kurang lebih selama 1 minggu. Karena sifatnya yang tidak mudah larut, NO dan NO_2 mudah berpindah ke bagian atas lapisan troposfer, yang selanjutnya menghasilkan HNO_3 pada reaksinya dengan OH . Asam nitrat yang dihasilkan di bagian atas lapisan troposfer tidak mengalami pengendapan kering maupun basah, namun bertransformasi menjadi NO_2 secara fotolisis:



Pada tingkat yang lebih rendah, HNO_3 dioksidasi oleh OH . Karena reaksi ini berlangsung relatif lambat, HNO_3 menjadi tempat untuk NO_x berpindah tempat di atmosfer.

Menurut Fardiaz (1992) berbagai pengaruh merugikan yang ditimbulkan karena polusi NO_x bukan disebabkan oleh oksida tersebut, tetapi karena peranannya dalam pembentukan oksidan fotokimia yang merupakan komponen berbahaya di dalam asap. Produksi oksidan tersebut terjadi jika terdapat polutan-polutan lain yang mengakibatkan reaksi-reaksi yang melibatkan NO dan NO_2 . Reaksi-reaksi tersebut disebut siklus fotolitik NO_2 dan merupakan akibat langsung dari interaksi antara sinar matahari dengan NO_2 .

Pengaruh Nitrogen Oksida (NO_x) Terhadap Manusia

Kedua bentuk nitrogen oksida, yaitu NO dan NO_2 sangat berbahaya terhadap manusia. Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa NO_2 empat kali lebih beracun daripada NO . Pada konsentrasi yang normal ditemukan di atmosfer, NO tidak mengakibatkan iritasi

dan tidak berbahaya, tetapi pada konsentrasi udara ambien yang normal dapat mengalami oksidasi menjadi NO_2 yang lebih beracun (Fardiaz, 1992). Seperti halnya karbon monoksida (CO) dan nitrit, NO melekat pada hemoglobin dan menghambat transport oksigen dalam darah. Paparan NO_2 secara akut dapat membahayakan kesehatan manusia (Manahan, 2010).

Pengaruh NO_x Terhadap Tumbuhan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium, paparan NO_2 pada tumbuhan dapat menyebabkan bercak pada daun dan kerusakan pada jaringan tumbuhan. Paparan NO hingga 10 ppm dapat menyebabkan penurunan laju fotosintesis pada tumbuhan (Manahan, 2010).

Percobaan dengan cara pengasapan tanaman dengan NO_2 menunjukkan terjadinya bintik-bintik pada daun jika digunakan NO_2 dengan konsentrasi 1 ppm, sedangkan dengan konsentrasi yang lebih tinggi (3,5 ppm atau lebih) terjadi nekrosis atau kerusakan pada jaringan daun (Edy, 2005).

Pengaruh Suhu dan Tekanan Atmosfer Terhadap SO_2 dan NO_2

Inversi suhu dan tekanan mempunyai efek yang besar terhadap pencemaran udara, termasuk keberadaan SO_2 dan NO_2 yang merupakan salah satu polutan udara. Umumnya, suhu atmosfer menurun seiring dengan bertambahnya ketinggian, artinya semakin tinggi suatu tempat maka suhunya akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena panas dari energi matahari diserap oleh permukaan tanah sehingga menyebabkan suhu di permukaan lebih hangat. Udara yang hangat tadi kemudian naik ke atmosfer dan menyebar luas sehingga udara menjadi dingin. Namun terkadang, suhu udara juga meningkat seiring dengan bertambahnya ketinggian. Kondisi ini disebut inversi suhu, karena suhu di atmosfer berkonversi tidak semestinya.

Terdapat dua jenis inversi suhu yaitu permanen dan permukaan. Inversi permanen terjadi di altitud yang tinggi di atmosfer tepatnya di stratosfer. Inversi

suhu di stratosfer menyebabkan dampak global polusi udara jangka panjang. Sedangkan inversi permukaan terjadi di bagian lapisan troposfer paling rendah (permukaan bumi). Hal ini terjadi karena pendinginan di permukaan berlangsung cepat yang disebabkan pelepasan radiasi energi sepanjang malam. Inversi permukaan ini menyebabkan dampak lokal sehingga menyebabkan polusi udara jangka pendek (Bennett, 2017).

Kaitannya dengan konsentrasi SO_2 dan NO_2 di udara, proses inversi permukaanlah yang berperan di dalamnya. Kondisi yang mendukung terjadinya inversi permukaan yang kuat antara lain angin yang tenang, langit yang cerah, dan waktu malam yang lebih panjang. Angin yang tenang menghalangi udara panas untuk mencapai permukaan tanah, dan langit yang cerah meningkatkan laju pendinginan permukaan. Sedangkan malam yang panjang memungkinkan pendinginan tanah berlangsung sepanjang waktu, yang menghasilkan penurunan suhu yang cukup besar pada permukaan. Ketika musim dingin, waktu malam akan lebih panjang dibandingkan ketika musim panas, sehingga inversi permukaan akan berdampak lebih kuat selama musim dingin. Umumnya, pada siang hari inversi permukaan akan melemah dan hilang sebagai panas matahari pada permukaan bumi. Namun, pada kondisi tertentu seperti pada area yang bertekanan tinggi, inversi ini dapat berlangsung selama beberapa hari. Selain itu, bentuk topografi suatu area juga dapat menambah formasi terjadinya inversi permukaan, khususnya pada lokasi membentuk lembah. Saat terjadi inversi permukaan, suhu udara panas yang berada di atas suhu udara dingin berperan seperti penutup, menekan secara vertikal dan menangkap udara yang dingin pada permukaan. Polutan-polutan udara yang berasal dari kendaraan bermotor, kebakaran, kegiatan industri, dan lain-lain diemisikan ke udara dan inversi ini akan menangkap polutan tersebut sehingga terjadi penurunan kualitas udara di permukaan.

Pengaruh NO_x terhadap tumbuhan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di laboratorium, paparan NO_2 pada tumbuhan dapat menyebabkan bercak pada daun dan kerusakan pada jaringan tumbuhan. Paparan NO hingga 10 ppm dapat menyebabkan penurunan laju fotosintesis pada tumbuhan (Manahan, 2010). Percobaan dengan cara pengasapan tanaman dengan NO_2 menunjukkan terjadinya bintik-bintik pada daun jika digunakan NO_2 dengan konsentrasi 1 ppm, sedangkan dengan konsentrasi yang lebih tinggi (3,5 ppm atau lebih) terjadi nekrosis atau kerusakan pada jaringan daun (Edy, 2005).

METODOLOGI PENELITIAN

Pengambilan Sampel SO_2 dan NO_2 di Udara Ambien

1. Penentuan waktu *sampling* didasari oleh pertimbangan kepadatan aktivitas kendaraan saat hari kerja dan hari libur. Dalam hal ini, diasumsikan bahwa akan terjadi perbedaan kadar SO_2 dan NO_2 di udara ambien di Jl. Panembahan Senopati Yogyakarta sebagai akibat perbedaan kepadatan aktivitas kendaraan bermotor yang berlalu lalang. Waktu *sampling* dilakukan pada hari Selasa-Rabu (hari kerja) dan hari Sabtu-Minggu (hari libur).
2. *Sampling* dilakukan selama 4 hari (Selasa-Rabu dan Sabtu-Minggu). Dalam 1 hari dilakukan 5 kali *sampling* yaitu pada pukul 07.00-08.00, pukul 12.00-13.00, pukul 16.00-17.00, pukul 19.00-20.00, dan pukul 03.00-04.00 WIB. Hal tersebut didasari atas asumsi kepadatan aktivitas kendaraan yang berbeda pada waktu-waktu tersebut. Selain itu juga pengaruh keberadaan cahaya matahari yang juga diasumsikan akan mempengaruhi kadar SO_2 dan NO_2 di udara ambien.
3. Untuk *sampling* SO_2 dan NO_2 mula-mula satu set alat *sampling* udara jalur absorpsi disiapkan. Larutan penjerap SO_2 (TCM) dan larutan Griess Saltzman dimasukkan sebanyak 10 mL ke masing-masing botol *midget impinger*. Botol *midget*

impinger diatur agar terlindung dari hujan dan sinar matahari langsung. Pompa penghisap udara dihidupkan dan diatur kecepatan alir 0,5 L/menit untuk SO₂ dan 0,4 L/menit untuk NO₂. Setelah stabil dicatat laju alir awal F₁ (L/menit). Pengambilan contoh uji dilakukan selama 1 jam dan dicatat temperatur dan tekanan udara. Setelah 1 jam, dicatat laju alir akhir F₂ (L/menit) dan kemudian pompa penghisap dimatikan. Setelah pengambilan contoh uji (sampel) didiamkan selama 20 menit untuk menghilangkan pengganggu.

Perhitungan Volume Lalu Lintas

Untuk perhitungan volume lalu lintas dilakukan pengukuran volume kendaraan dengan bantuan alat *counter* sebagai alat hitung yang dilakukan selama pengambilan sampel konsentrasi polutan udara. Pengukuran dilakukan mengikuti lamanya pengambilan sampel polutan udara dan dilakukan pencatatan setiap 15 menit. Setelah memperoleh data volume kendaraan kemudian dikalikan

dengan nilai satuan mobil penumpang (smp) sehingga didapat volume kendaraan dalam satuan mobil penumpang per jam (smp/jam).

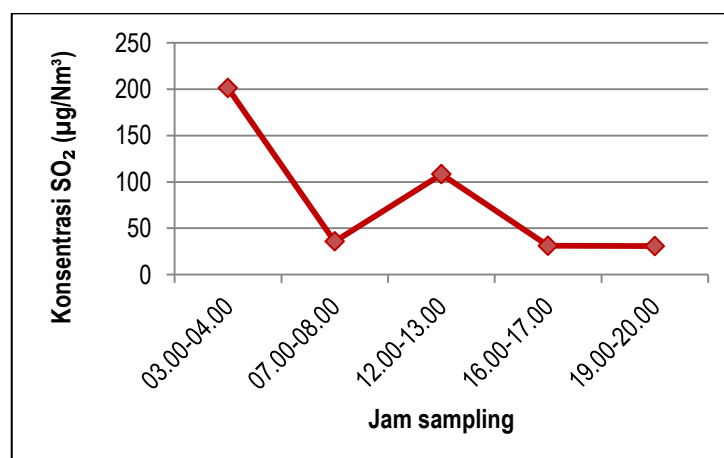
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Konsentrasi SO₂ dan NO₂ di Jl. Panembahan Senopati

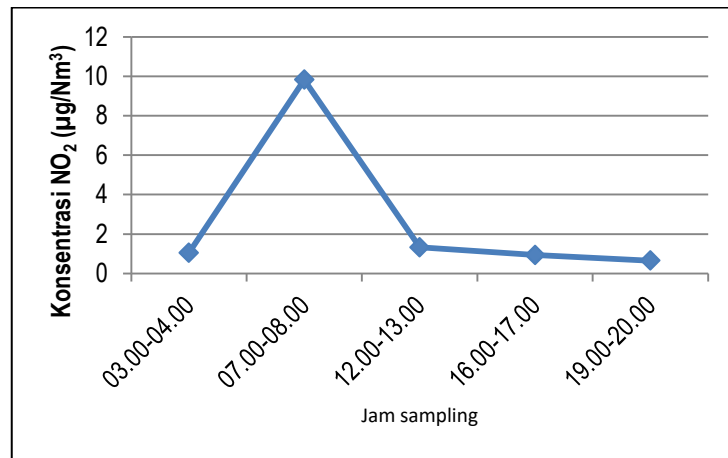
Pengukuran konsentrasi polutan SO₂ dan NO₂ di Jalan Panembahan Senopati Yogyakarta dilakukan selama 4 hari pengamatan yaitu pada hari kerja (Selasa-Rabu) dan hari libur (Sabtu-Minggu) dengan 5 jam pengamatan per hari (pukul 07.00-08.00, 12.00-13.00, 16.00-17.00, 19.00-20.00 dan 03.00-04.00 WIB). Pengukuran konsentrasi polutan SO₂ dan NO₂ dilakukan secara bersamaan dengan perhitungan data lalu lintas yaitu volume kendaraan. Data hasil perhitungan konsentrasi polutan SO₂ dan NO₂ pada hari Selasa ditampilkan pada Tabel 2. Dari pengamatan dan pengolahan data yang dilakukan dapat dilihat fluktuasi konsentrasi polutan seperti tampak pada grafik dalam Gambar 1 dan Gambar 2.

Tabel 2. Perhitungan Konsentrasi Polutan SO₂ dan NO₂ pada Hari Selasa Jam *Sampling*

Waktu	Volume Sampel (L)		Pembacaan Absorbansi		Berat Sampel (mg)		Konsentrasi (µg/Nm ³)	
	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂
03.00-04.00	24,1292	30,1615	0,0176	0,067	0,000025	0,00649	1,0443	200,95
07.00-08.00	24,0162	30,0203	0,031	0,0104	0,000236	0,00115	9,8267	35,775
12.00-13.00	23,8374	29,7968	0,0161	0,0348	0,00003151	0,003452	1,3218	108,199
16.00-17.00	27,067	30,0745	0,0176	0,0088	0,0252	0,001	0,9313	31,022
19.00-20.00	24,28	30,3544	0,017	0,0088	0,0000157	0,001	0,6466	30,736

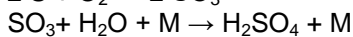
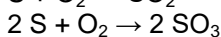
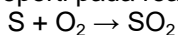


Gambar 1. Konsentrasi SO₂ pada Hari Selasa

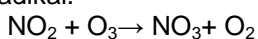


Gambar 2. Konsentrasi NO₂ pada hari Selasa

Pada Gambar 1 dan Gambar 2 tampak bahwa konsentrasi SO₂ dan NO₂ pada waktu *sampling* yang dilakukan pada hari kerja (hari Selasa) bersifat fluktuatif. Kondisi saat *sampling* pukul 03.00-04.00 yaitu suhu (T) rata-rata 296°K, tekanan (Pa) rata-rata 759 mmHg, kelembaban 81%, kecepatan angin 2,2 m/s dengan cuaca berawan. Konsentrasi SO₂ tertinggi terjadi pada waktu *sampling* pukul 03.00-04.00 yang mencapai 200,95 µg/Nm³. Pada jam ini belum ada cahaya matahari sehingga SO₂ yang dihasilkan dari asap kendaraan bermotor belum mengalami reaksi fotokimia untuk berubah menjadi H₂SO₄ seperti pada reaksi berikut:

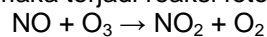


Didukung pada saat *sampling* cuaca berawan, maka menyebabkan polutan SO₂ tidak dapat berpindah ke altitud yang lebih tinggi karena tertahan oleh awan sehingga konsentrasinya menjadi tinggi. Sedangkan konsentrasi NO₂ pada jam ini cenderung rendah. Hal ini disebabkan karena pada dini hari belum ada cahaya matahari yang dapat mengoksidasi NO yang menjadi NO₂. Selain itu, NO₂ yang dihasilkan dari transportasi hari sebelumnya kemungkinan sudah diubah menjadi HNO₃ pada malam hari oleh ozon (O₃) yang menghasilkan NO₃ yang bersifat radikal.



Pada pukul 07.00-08.00 WIB kondisi saat *sampling* yaitu suhu (T) rata-rata

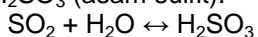
297°K, tekanan (Pa) rata-rata 758 mmHg, kelembaban 50%, kecepatan angin 2,5 m/s dengan cuaca berawan. Dibandingkan dengan dini hari, pada pagi hari (pukul 07.00-08.00), konsentrasi SO₂ menurun. Hal ini terjadi karena kecepatan angin yang meningkat dibanding waktu *sampling* pada dini hari sehingga SO₂ dapat bertransportasi ke tempat lain. Munculnya cahaya matahari walaupun dengan intensitas yang minim juga membantu proses reaksi fotokimia sehingga SO₂ dapat beroksidasi menjadi H₂SO₄. Sedangkan konsentrasi NO₂ cenderung naik. Hal ini terjadi karena mulai munculnya cahaya matahari walaupun dengan intensitas yang minim menyebabkan NO beroksidasi dengan ozon dan menghasilkan NO₂. Konsentrasi NO₂ tertinggi juga terjadi pada jam ini, yaitu mencapai 9,8267 µg/Nm³. Karena cahaya mulai muncul (walaupun dengan intensitas minim) maka terjadi reaksi fotokimia:



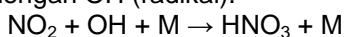
Pada pukul 12.00-13.00 kondisi saat *sampling* yaitu suhu (T) rata-rata 302°K, tekanan (Pa) rata-rata 765 mmHg, kelembaban 55%, kecepatan angin 2,5 m/s dengan cuaca berawan. Dengan kecepatan angin yang sama dengan pagi hari, namun konsentrasi SO₂ di udara pada jam ini meningkat dibanding pagi hari namun tetap lebih rendah dibanding saat dini hari. Hal ini disebabkan karena pergerakan gas SO₂ yang relatif terbatas karena tekanan yang lebih besar. Sedangkan konsentrasi NO₂ menurun dibanding pagi hari namun sedikit lebih

tinggi dibandingkan saat dini hari. Hal ini terjadi karena cahaya matahari lebih redup dibandingkan pagi hari. Hal ini menyebabkan ozon hanya dapat beroksidasi dengan NO untuk menghasilkan NO₂ dalam jumlah kecil.

Pada pengambilan sampel sore hari (16.00-17.00) dengan suhu (T) rata-rata 300°K, tekanan (Pa) rata-rata 767 mmHg, kelembaban 60%, kecepatan angin 1,95 m/s dan pada malam hari (19.00-20.00) dengan suhu rata-rata 298°K, tekanan rata-rata 769 mmHg, kelembaban 71%, dan kecepatan angin 1,95 m/s terjadi hujan ringan. Polutan SO₂ juga menurun dibanding dengan konsentrasi pada dini hari hingga siang hari. Hal ini disebabkan karena sifat SO₂ yang mudah larut dalam air sehingga SO₂ bereaksi dengan H₂O menjadi H₂SO₃ (asam sulfat).



Begitupun dengan konsentrasi NO₂ yang menurun dibanding dengan dini hari hingga siang hari karena tidak adanya cahaya matahari maka NO tidak beroksidasi dengan ozon. Selain itu karena sifatnya yang tidak mudah larut, NO₂ mudah berpindah ke bagian atas lapisan troposfer, yang selanjutnya menghasilkan HNO₃ pada reaksinya dengan OH (radikal).



KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada rentang volume kendaraan 121,9 smp/jam sampai 2128,9 smp/jam tidak terjadi korelasi antara aktivitas kendaraan bermotor (volume kendaraan) terhadap konsentrasi SO₂ dan NO₂ di udara ambien yang terdapat di lokasi penelitian.
2. Faktor meteorologis seperti cuaca kecepatan angin, suhu, dan kelembaban udara merupakan faktor yang lebih mempengaruhi konsentrasi SO₂ dan NO₂ di udara ambien.
3. Turunnya hujan dapat mempengaruhi konsentrasi SO₂ dan NO₂ di udara ambien karena konsentrasinya akan cenderung menurun.
4. Konsentrasi polutan SO₂ dan NO₂ tidak terpengaruh oleh hari kerja

(Selasa-Rabu) maupun hari libur (Sabtu-Minggu) karena lokasi *sampling* yang berada di dekat obyek-obyek wisata sehingga aktivitas kendaraannya selalu ramai.

5. Konsentrasi SO₂ tertinggi mencapai 232,05 µg/Nm³ sedangkan konsentrasi NO₂ tertinggi mencapai 17,9522 µg/Nm³ dan keduanya tidak melebihi baku mutu udara yang berlaku baik di DIY maupun baku mutu udara ambien nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Bennett, D., 2017, *How Do Temperature Inversions Influence Air Pollution?*, (<https://sciencing.com/temperature-inversions-influence-air-pollution-10038430.html>), (diakses pada 30 Oktober 2017).
- Edy, B. M. S., 2005, *Pencemaran Udara, Respon Tanaman dan Pengaruhnya pada Manusia*, *Skripsi*, Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Fardiaz, S., 1992, *Polusi Air & Udara*, Kanisius, Yogyakarta.
- Godish, T., 2004, *Air Quality, 4th Edition*, Lewis Publisher, USA.
- Gunardo, R. B., 2014, *Geografi Transportasi*, Ombak, Yogyakarta.
- Hadi, A., 2015, *Pengambilan Sampel Lingkungan*, Erlangga, Jakarta.
- Istirokhatun, T., 2016, *Investigasi Pengaruh Kondisi Lalu Lintas dan Aspek Meteorologi Terhadap Konsentrasi Pencemar SO₂ di Kota Semarang*, *Skripsi*, Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Manahan, S. E., 2010, *Environmental Chemistry Ninth Edition*, CRC Press, USA.
- Soedomo, M., 2001, *Pencemaran Udara*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Wardani, T. K., 2012, *Perbedaan Tingkat Risiko Kesehatan oleh Paparan PM10, SO2 dan NO2 pada Hari Kerja, Hari Libur, dan Hari Bebas Kendaraan Bermotor di Bundaran HI Jakarta*, *Skripsi*, Jurusan Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.
- Wiyandari, M., 2010, *Hubungan Volume Kendaraan Terhadap Konsentrasi*

Polutan NO_x di Udara (Studi Kasus:
Jalan Margonda Raya Depok),
Skripsi, Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas
Indonesia.

BIODATA PENULIS

Sri Hastutiningrum, S.T., M.Si., lahir pada tanggal 24 Mei 1958 di Yogyakarta, menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia dari Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta tahun 1993 dan S2 pada Jurusan Kimia MIPA dari Universitas Gadjah Mada tahun 2006. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap pada Jurusan Teknik Lingkungan di IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Lektor pada bidang minat mekanika fluida, teknologi penyediaan air, sistem jaringan dan distribusi.

Dra. Sri Sunarsih, M.Si., lahir pada tanggal 10 April 1962 di Gunungkidul menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia dari Universitas Gadjah Mada tahun 1991 dan S2 pada Jurusan Kimia dari Universitas Gadjah Mada tahun 2005. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap pada Jurusan Teknik Lingkungan di IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Asisten Ahli pada bidang minat kimia lingkungan, analisis kualitas lingkungan dan pengendalian pencemaran industri.

Imelda, lahir pada tanggal 29 Maret 1995 di Tegal, menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Lingkungan dari IST AKPRIND Yogyakarta tahun 2017. Saat ini tercatat sebagai karyawan bagian Management Trainee department Environment, Health and Safety (EHS) di PT. Industri Gula Nusantara Kendal.