



Nihon University



Gadjah Mada University



Institute Technology
Bandung



Parahyangan Catholic
University

COLLECTION OF PAPERS

Submitted for Presentation in The 19th
International Symposium of Indonesian Inter-
University Transportation Studies Forum

“Connecting regions and improving mobility
to foster nation’s competitiveness and resilience”

October 11-13, 2016

Islamic University of Indonesia
Yogyakarta

PEMODELAN HUBUNGAN JUMLAH KENDARAAN BERBAHAN BAKAR SOLAR DENGAN KONSENTRASI GAS SULFUR DIOKSIDA (SO₂) DI UDARA AMBIEN JALAN RAYA KOTA PADANG

Hendra Gunawan

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Andalas, Kampus Limau Manis
Padang-25163, Telp: (0751) 72497
hendra@ft.unand.ac.id

Yenni Ruslinda

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik,
Universitas Andalas, Kampus Limau Manis
Padang-25163, Telp: (0751) 72497
yenni@ft.unand.ac.id

Abstract

In this study, the relationships between the numbers of diesel vehicles and SO₂ gas concentrations at ambient air of Padang roadways, have been modeled. SO₂ gas sample were captured using Gas Sampler Ambient device with pararosanilin method, and concentration analysis using spektrofotometer. The average concentration of SO₂ gas at all three streets are ranged from 23.61 to 177.06 mg/Nm³, with the highest concentrations occurred in the morning at 7.00 to 8.00 a.m. and afternoon at 15.00-16.00 p.m. All these concentrations are still below the national ambient air quality standard under PP 41/1999. Regression and correlation analysis using SPSS 20 showed a very strong correlation between the numbers of diesel vehicle and concentration of SO₂ gas with a value of correlation coefficient (r) 0.950 to 0.958; and the result equation also showed a significant correlation ($\alpha < 0.05$). Validation tests reveal that comparison of concentration of field measurement and model have error percentage (E) between 10 to 18 %.

Keywords: SO₂ gas, roadway, diesel fuel vehicle, regression dan correlation

Abstrak

Dalam penelitian ini dibuat pemodelan hubungan jumlah kendaraan berbahan bakar solar dengan konsentrasi gas SO₂ di udara ambien jalan raya Kota Padang. Pengambilan sampel gas SO₂ menggunakan alat *Gas Sampler Ambient* dengan metode pararosanilin dan analisis konsentrasinya menggunakan spektrofotometer. Konsentrasi rata-rata gas SO₂ di ketiga jalan berkisar 23,61-177,06 µg/Nm³, dengan konsentrasi tertinggi terjadi pada pagi hari pukul 07.00-08.00 WIB dan sore hari pukul 15.00-16.00 WIB. Konsentrasi ini masih di bawah baku mutu udara ambien nasional berdasarkan PP No. 41 Tahun 1999. Dari analisis regresi dan korelasi menggunakan SPSS 20 diperoleh hubungan jumlah kendaraan berbahan bakar solar dengan konsentrasi gas SO₂ sangat kuat dengan nilai korelasi (r) 0,950-0,958 dan persamaan yang dihasilkan menunjukkan hubungan yang signifikan ($\alpha < 0,05$). Hasil uji validasi terhadap konsentrasi hasil pengukuran di lapangan dan konsentrasi dari perhitungan dengan persamaan memberikan nilai persen error (E) 10-18%.

Keywords: gas SO₂, jalan raya, kendaraan berbahan bakar solar, regresi dan korelasi

PENDAHULUAN

Udara merupakan faktor yang penting dalam kehidupan. Namun sejalan dengan perkembangan pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, serta berkembangnya transportasi, kualitas udara pun mengalami perubahan yang disebabkan oleh terjadinya pencemaran udara. Sumber pencemaran udara yang utama di daerah perkotaan berasal dari aktivitas transportasi dan industri. Aktivitas kendaraan bermotor menghasilkan 70% dari seluruh pencemaran udara yang terjadi. Kendaraan bermotor merupakan sumber pencemar bergerak yang menghasilkan berbagai polutan seperti Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Oksida Nitrogen (NO_x), Oksida Sulfur (SO_x), Timbal (Pb) dan partikulat (Noviani E. dkk, 2013). Di Kota Jakarta kendaraan bermotor menyumbang

sekitar 71% pencemar oksida nitrogen (NO_x), 15% pencemar oksida sulfur (SO_x), dan 70% pencemar partikulat (PM_{10}) (BPLH DKI Jakarta, 2013).

Oksida Sulfur (SO_x) terdiri dari gas sulfur dioksida (SO_2) dan sulfur trioksida (SO_3) yang keduanya mempunyai sifat berbeda. Gas SO_2 berbau tajam, tidak berwarna dan menimbulkan iritasi sedangkan gas SO_3 bersifat sangat reaktif. Gas SO_2 dihasilkan dari aktivitas lalu lintas, yakni berasal dari gas buang kendaraan bermotor. Pencemaran udara yang terjadi di Jakarta disebabkan oleh 60% transportasi umum yang berbahan bakar solar (Kusminingrum, N dan Gunawan, 2008). SO_2 merupakan gas buang yang larut dalam air dan langsung dapat terabsorpsi di dalam hidung serta sebagian besar saluran ke paru-paru yang mengakibatkan produksi lendir meningkat sehingga terjadi penyempitan pada saluran pernafasan. Jika kadar pencemar SO_2 mencapai 8-12 ppm, mengakibatkan iritasi pada tenggorokan dan mata, bahkan pada konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan kematian (Chang Hong Chen et.al., 2009).

Hasil penelitian terdahulu di beberapa kota di Indonesia menunjukkan adanya hubungan antara konsentrasi gas SO_2 dengan jumlah kendaraan berbahan bakar solar. Penelitian di jalan raya Kota Semarang pada tahun 2013 menunjukkan konsentrasi gas SO_2 terbesar terjadi di Jalan Karangrejo Raya karena pada jalan ini jenis kendaraan yang melintas lebih banyak adalah kendaraan yang berbahan bakar solar. Selain itu, berdasarkan data BPLH DKI Jakarta, kendaraan bermotor berbahan bakar solar memberikan kontribusi gas SO_2 lebih besar yaitu sebanyak 85% dibandingkan dengan kendaraan bermotor berbahan bakar bensin yang hanya sebesar 15% (Kusumawati P.S. dkk, 2013).

Untuk menganalisis hubungan antara jumlah kendaraan berbahan bakar solar dengan konsentrasi gas SO_2 di udara ambien jalan raya, dilakukan penelitian ini. Dalam penelitian ini dibuat model matematis persamaan antara jumlah kendaraan berbahan bakar solar dengan konsentrasi gas SO_2 , dengan terlebih dahulu menganalisis fluktuasi harian jumlah kendaraan berbahan bakar solar dan konsentrasi gas SO_2 di udara ambien jalan raya Kota Padang. Hasil dari penelitian ini diharapkan adanya model matematis untuk pengukuran pendekatan konsentrasi gas SO_2 di lapangan berdasarkan jumlah kendaraan berbahan bakar solar yang melintasi kawasan jalan raya tersebut.

METODE PENELITIAN

Tahapan dari penelitian ini terdiri dari pengumpulan data sekunder, penelitian pendahuluan, pemilihan lokasi dan waktu penelitian, pengambilan data primer, analisis laboratorium, pengolahan dan analisis data.

Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder meliputi:

1. Data klasifikasi jalan Kota Padang yang diperoleh dari Dinas Perhubungan, Komunikasi dan Informatika Kota Padang;
2. Peta lokasi penelitian yang diperoleh dari *Google Maps*;
3. Data arah dan kecepatan angin dominan Kota Padang lima tahun terakhir dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kota Padang yang dipergunakan untuk menentukan *windrose* Kota Padang. Data *windrose* diperlukan untuk peletakan alat saat pengambilan sampel gas SO_2 .

Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk menentukan lokasi penelitian dengan menghitung volume lalu lintas di beberapa ruas jalan di Kota Padang, yang diprediksi berpotensi menghasilkan konsentrasi polutan gas SO₂. Perhitungan volume lalu lintas dilakukan dengan menghitung jumlah kendaraan setiap jamnya, kemudian dikonversi ke satuan smp/jam (satuan mobil penumpang per jam). Hasil perhitungan volume lalu lintas pada penelitian pendahuluan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Penelitian Pendahuluan Volume Lalu Lintas di Jalan Raya Kota Padang

Klasifikasi Jalan	Nama Jalan	Volume Lalu Lintas (smp/jam)	Kondisi jalan
Jalan Arteri	Jl. Sudirman	2.613	1 jalur, ada pohon
	Jl. Rasuna Said	2.505	1 jalur, ada pohon
Jalan Kolektor	Jl. Imam Bonjol	1.177	1 jalur, ada pohon
	Jl. Permindo	619	1 jalur, ada pohon
Jalan Lokal	Jl. M. Yunus	1.316	1 jalur, ada pohon
	Jl. Samudra	276	1 jalur, ada pohon

Pemilihan Lokasi dan Waktu Pengambilan Data Primer

Lokasi penelitian ditetapkan sebanyak tiga titik yang mewakili klasifikasi fungsi jalan yaitu sebagai jalan arteri, jalan kolektor dan jalan lokal. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia no 34 tahun 2006 tentang Jalan dinyatakan jalan arteri merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanannya jarak jauh, dengan kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk ke jalan ini sangat dibatasi secara berdaya guna. Jalan kolektor merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi. Jalan lokal merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak pendek, kecepatan rata-rata rendah, dan jalan masuk tidak dibatasi.

Pemilihan lokasi pengambilan data primer ini mengacu pada SNI 19-7119.9-2005 tentang Penentuan Lokasi Pengambilan Contoh Uji Pemantauan Kualitas Udara *Roadside*. Dalam SNI tersebut jalan yang dipilih untuk lokasi pemantauan kualitas udara jalan raya adalah jalan yang tegak lurus dengan arah angin dominan. Dari data BMKG diperoleh angin dominan di Kota Padang pada siang hari berasal dari Barat (dari lautan), sedangkan pada malam hari berasal dari Timur (dari daratan). Hal ini dikarenakan Kota Padang merupakan kota pantai yang dipengaruhi oleh fenomena angin darat dan angin laut (Ruslinda dan Hafidawati, 2012). Selain itu pertimbangan pemilihan lokasi pengukuran juga didasarkan pada persamaan karakteristik ketiga jalan dan merupakan volume lalu lintas tertinggi pada masing-masing fungsi jalan. Jalan yang terpilih sebagai lokasi pengambilan sampel adalah Jl. Sudirman mewakili jalan arteri, Jl. Imam Bonjol mewakili jalan kolektor dan Jl. M. Yunus mewakili jalan lokal. Waktu pengambilan sampel gas SO₂ dilakukan pada Bulan Mei-Juni tahun 2016.

Pengambilan Data Primer

Pengambilan data primer dalam penelitian ini berupa pengambilan sampel gas SO₂ untuk mendapatkan persamaan hubungan konsentrasi SO₂ dan jumlah kendaraan berbahan bakar solar serta untuk memvalidasi persamaan yang telah diperoleh. Pengambilan data primer ini mengacu pada SNI 19-7119.9-2005, dengan penempatan alat pengambilan sampel pada jarak 1-5 meter dari pinggir jalan raya dan ketinggian 1,5-3 meter dari

permukaan tanah, tegak lurus dengan arah angin dominan, berjarak minimal 25 m dari persimpangan dan bebas dari gangguan fisik dan kimia. Pengambilan data primer meliputi:

1. Pengukuran jumlah kendaraan berbahan bakar solar
Jumlah kendaraan berbahan bakar solar dihitung secara manual dengan menggunakan *counter* dan video camera untuk merekam kejadian di lapangan. Sebelum pengukuran di lapangan, telah dilakukan pendataan jenis dan merk mobil yang menggunakan bahan bakar solar dari beberapa referensi.
2. Pengukuran konsentrasi gas SO₂
Pengambilan konsentrasi gas SO₂ di udara ambien menggunakan metode *pararosanilin*. Gas SO₂ diserap dalam larutan penyerap *tetrakloromercurat* membentuk senyawa kompleks *diklorosulfonatomercurat*. Pengambilan sampel polutan gas ini dilakukan menggunakan alat *Gas Sampler Ambient* dengan laju alir 1 liter/menit.
3. Pengukuran kondisi meteorologi
Pengukuran kondisi meteorologi di lokasi penelitian meliputi parameter suhu, tekanan dan arah angin, yang dilakukan setiap 15 menit dan dirata-ratakan untuk data setiap jamnya. Alat yang digunakan untuk mengukur suhu dan tekanan udara adalah *pocket weatherman* dan untuk arah angin dengan kompas. Data kondisi meteorologi ini berguna untuk pengolahan data konsentrasi gas SO₂.

Pengukuran jumlah kendaraan berbahan bakar solar dan konsentrasi gas SO₂ dilakukan setiap jam selama 24 jam (satu hari) untuk melihat fluktuasi hariannya. Pengambilan data primer untuk validasi dilakukan dengan langkah yang sama seperti di atas, namun pengambilan sampel hanya dilakukan sebanyak 8 sampel, yaitu 4 sampel mewakili jam sibuk dan 4 sampel mewakili jam sepi. Jam sibuk dan jam sepi ditentukan dari hasil pengukuran fluktuasi harian untuk konsentrasi gas SO₂.

Analisis Laboratorium

Sampel polutan gas SO₂ dibawa ke laboratorium untuk dianalisis konsentrasinya menggunakan alat spektrofotometer. Dengan penambahan larutan *parasosanilin* dan *folmadehida*, ke dalam senyawa *diklorosulfonatomercurat* maka terbentuk senyawa *parasosanilin metil sulfonat* yang berwarna ungu. Analisis konsentrasi polutan gas SO₂ dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan penyerap pada panjang gelombang 548 nm. Analisis laboratorium ini dilakukan di Laboratorium Kualitas Udara Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas.

Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan dan analisis data meliputi:

1. Analisis jumlah kendaraan berbahan bakar solar, dilakukan dengan menjumlahkan kendaraan berbahan bakar solar yang melewati lokasi pengambilan sampel setiap jamnya. Kemudian data disajikan dalam bentuk grafik untuk melihat fluktuasi harian jumlah kendaraan berbahan bakar solar.
2. Perhitungan konsentrasi gas SO₂ dilakukan dengan cara mengkonversi nilai absorbansi yang diperoleh dari analisis laboratorium menjadi satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menggunakan persamaan 1.

$$C = \frac{[X \times \text{Vol Larutan Akhir (L)} \times \text{Suhu (K)} \times 760 \text{ mmHg} \times \text{Berat Molekul (g/mol)} \times 10^6]}{\text{debit (L/menit)} \times \text{Waktu Sampling (60 menit)} \times P \text{ (mmHg)} \times 298 \text{ K} \times 24,45 \text{ (L/mol)}} \quad (1)$$

dimana:

x = konsentrasi absorban

Data konsentrasi gas SO₂ yang diperoleh, kemudian dibandingkan dengan baku mutu udara ambien nasional yaitu Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999.

3. Analisis hubungan jumlah kendaraan berbahan bakar solar dengan konsentrasi gas SO₂, ditentukan dengan analisis regresi dan korelasi. Jumlah kendaraan berbahan bakar solar merupakan variabel bebas (x) dan konsentrasi gas SO₂ adalah variabel tidak bebas (y). Dari analisis ini didapatkan fungsi persamaan, nilai koefisien determinasi (R²) dan nilai korelasi (r). Tipe regresi yang digunakan adalah regresi linear dan regresi non linear. Persamaan yang terpilih adalah yang mempunyai nilai r mendekati 1 dan nilai R² terbesar untuk masing-masing jalan.
4. Selanjutnya dilakukan uji terhadap persamaan yang dihasilkan menggunakan analisis regresi dalam SPSS 20, untuk mendapatkan nilai signifikansi hubungan antara jumlah kendaraan berbahan bakar solar dengan konsentrasi gas SO₂. Jika nilai signifikansi $\alpha < 0,05$, maka persamaan dapat diterima, sebaliknya jika $\alpha > 0,05$ persamaan ditolak.
5. Validasi persamaan hubungan antara jumlah kendaraan berbahan bakar solar dengan konsentrasi gas SO₂ dilakukan dengan perhitungan nilai *persen error (E)*, yaitu membandingkan konsentrasi gas SO₂ yang diperoleh dari pengukuran lapangan dengan konsentrasi gas SO₂ hasil perhitungan dengan persamaan.

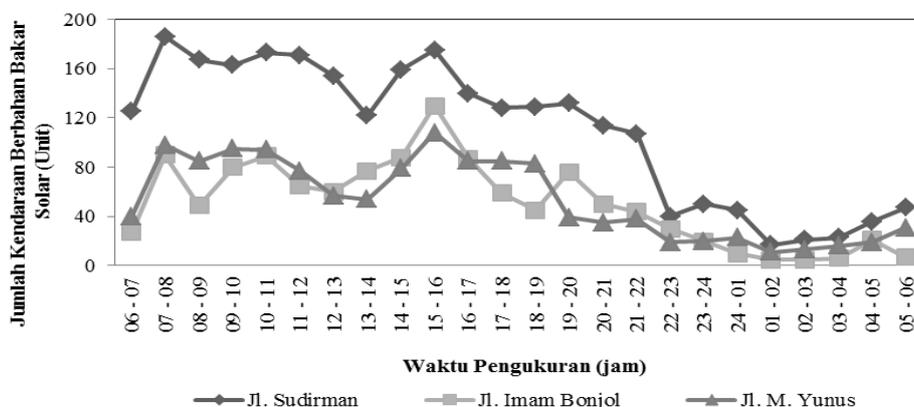
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Jumlah Kendaraan Berbahan Bakar Solar

Jumlah rata-rata kendaraan berbahan bakar solar yang melewati Jl. Sudirman sebesar 109 kendaraan/jam lebih banyak dibandingkan dengan Jl. M. Yunus sebesar 54 kendaraan/jam dan Jl. Imam Bonjol sebesar 51 kendaraan/jam. Jl. Sudirman yang merupakan jalan arteri dilewati lebih banyak oleh kendaraan berat seperti bis kota, bis sekolah dan mini bus yang umumnya berbahan bakar solar. Hal ini dikarenakan lokasi jalan berada di pusat kota dan mempunyai lebar jalan yang lebih besar dibandingkan kedua jalan lainnya. Selain itu, tata guna lahan di sepanjang jalan yang umumnya terdapat sarana perkantoran dan pendidikan yang mendukung untuk dilewati jenis kendaraan berat. Berbeda dengan Jl. Imam Bonjol dan Jl. M. Yunus yang mewakili jalan kolektor dan lokal, walaupun jalan kolektor lebih lebar dan berada di pusat kota, namun pada jalan ini lebih sedikit dilalui oleh kendaraan berat, dikarenakan lokasi dekat dengan sarana komersial yaitu pertokoan dan Pasar Raya Padang, sehingga kendaraan berbahan bakar solar yang lewat hanya berupa angkutan umum (mini bus). Sementara di Jl. M. Yunus dengan lokasi di pinggiran kota dan tata guna lahan sekitarnya adalah sarana pendidikan dan pemukiman, lebih banyak dilalui kendaraan berat yang berbahan bakar solar seperti bis sekolah, mini bus dan truk, dibandingkan dengan Jl. Imam Bonjol. Dengan demikian, tata guna lahan di sekitar jalan turut mempengaruhi jenis kendaraan yang melewati jalan tersebut. Dari pengamatan lapangan dan hasil penelitian sebelumnya didapatkan adanya hubungan antara jenis kendaraan berat dan jumlah kendaraan berbahan bakar solar. Jalan yang banyak dilalui kendaraan berat, umumnya memiliki jumlah kendaraan berbahan bakar solar lebih banyak (Gunawan, H. dkk, 2015).

Jumlah kendaraan berbahan bakar solar tertinggi di Jl. Sudirman terjadi pukul 07.00-08.00 WIB pagi hari yaitu sebesar 186 unit. Di Jl. Imam Bonjol dan Jl. M Yunus jumlah kendaraan berbahan bakar solar tertinggi terjadi pukul 15.00-16.00 WIB sore hari yaitu sebesar 130 unit dan 108 unit, sedangkan jumlah kendaraan berbahan bakar solar

terendah di ketiga lokasi penelitian terjadi pada jam 01.00-02.00 WIB dini hari berkisar antara 5-17 unit. Fluktuasi harian jumlah kendaraan berbahan bakar solar dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Fluktuasi Harian Jumlah Kendaraan Berbahan Bakar Solar

Hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya pada tahun 2015 untuk Jl. Raya *Bypass* yang mewakili jalan arteri diperoleh jumlah rata-rata kendaraan berbahan bakar solar sebesar 268 kendaraan/jam, Jl. Bagindo Aziz Chan yang mewakili jalan kolektor sebesar 61 kendaraan/jam, dan Jl. Perintis Kemerdekaan yang mewakili jalan lokal sebesar 50 kendaraan/jam (Gunawan, H. dkk, 2015). Dibandingkan dengan hasil penelitian ini, untuk jalan arteri, Jl Raya By Pass lebih banyak dilalui kendaraan berbahan bakar solar dikarenakan lokasinya di pinggir kota dan merupakan jalan antar kota sehingga banyak dilalui oleh bus dan truk yang umumnya berbahan bakar solar. Untuk jalan kolektor dan jalan lokal, terlihat tidak ada perbedaan yang signifikan antara kedua penelitian yang berkisar antara 50-61 kendaraan berbahan bakar solar per jamnya.

Pengukuran Kondisi Meteorologi

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan diperoleh suhu udara di ketiga jalan tidak jauh berbeda. Suhu pada siang hari lebih tinggi daripada suhu di malam hari. Suhu rata-rata pada siang hari di ketiga jalan berkisar antara 30,70-32,54 °C, sedangkan pada malam hari berkisar antara 25,12-27,50 °C. Tekanan udara di ketiga jalan berkisar antara 753,21-756,71 mmHg, yang berarti tidak terdapat perbedaan tekanan udara yang diukur pada ketiga jalan. Hal ini dikarenakan ketinggian daerah dari permukaan laut relatif sama dan suhu udara yang tidak jauh berbeda di antara ketiga lokasi penelitian.

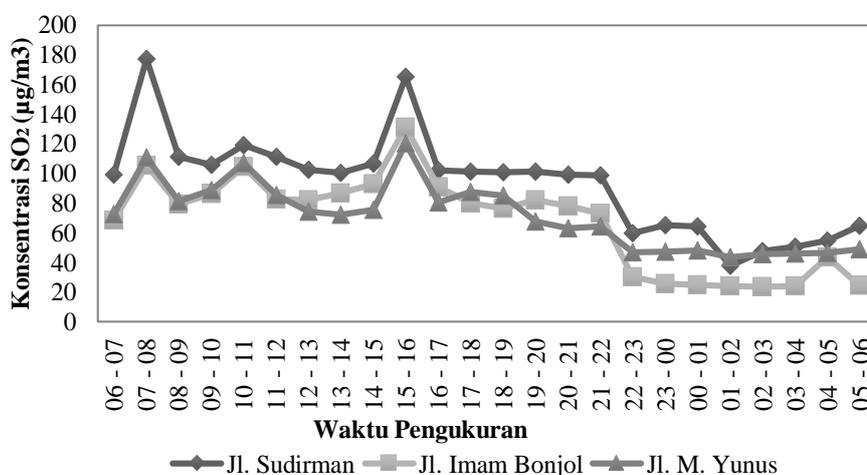
Arah angin yang terjadi di ketiga lokasi penelitian rata-rata pada siang hari lebih dominan dari arah Barat Laut. Pada malam hari, angin dominan di Jl. Sudirman rata-rata dari arah Timur, di Jl. Imam Bonjol dari arah Tenggara dan di Jl. M. Yunus *Calm* (angin tenang). Arah angin ini berguna untuk mengetahui arah penyebaran emisi polutan sehingga dapat ditentukan daerah mana yang akan tercemar searah dengan arah angin. Arah angin yang terjadi pada lokasi penelitian dipengaruhi oleh angin darat dan angin laut, dikarenakan Kota Padang merupakan kota pantai. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan angin dominan untuk Kota Padang pada siang hari dari arah Barat (berasal dari lautan) dan angin dominan pada malam hari dari arah Timur (berasal dari daratan). Karena adanya perbedaan angin dominan pada siang dan malam hari,

mengakibatkan pada saat pengambilan sampel gas SO₂, alat pengukuran pada siang dan malam hari juga dipindahkan lokasinya. Sesuai SNI 19-7119.9-2005, penempatan alat pengambilan sampel harus tegak lurus dengan arah angin dominan, sehingga polutan lebih sempurna ditangkap alat.

Analisis Konsentrasi Gas SO₂

Hasil pengukuran konsentrasi gas SO₂ di udara ambien jalan raya Kota Padang berkisar antara 23,61-177,06 µg/Nm³ dengan konsentrasi rata-rata gas SO₂ berturut-turut dari yang terbesar hingga terkecil adalah Jl. Sudirman sebesar 93,56 µg/Nm³, Jl. M. Yunus sebesar 71,16 µg/Nm³ dan Jl. Imam Bonjol sebesar 67,44 µg/Nm³. Konsentrasi gas SO₂ yang lebih tinggi di Jl. Sudirman dibandingkan kedua jalan lainnya dipengaruhi oleh banyaknya jumlah kendaraan berbahan bakar solar yang melewati jalan tersebut. Dari hasil pengukuran lapangan, jumlah kendaraan berbahan bakar solar dari yang terbesar hingga terkecil adalah Jl. Sudirman, Jl. M. Yunus dan Jl. Imam Bonjol.

Dari fluktuasi harian, didapatkan konsentrasi gas SO₂ di ketiga jalan mulai meningkat pada pagi hari dan mencapai puncak tertinggi pada pukul 07.00-08.00 WIB serta pada sore hari pukul 15.00-16.00 WIB. Konsentrasi gas SO₂ pada jam puncak ini berkisar antara 105,27 µg/Nm³- 177,06 µg/Nm³. Setelah pukul 21.00 WIB, konsentrasi gas SO₂ cenderung menurun, hingga mencapai titik minimum pada pukul 01.00-02.00 WIB dengan konsentrasi berkisar antara 23,61 µg/Nm³ - 47,49 µg/Nm³. Konsentrasi gas SO₂ di ketiga lokasi penelitian masih berada di bawah baku mutu yang telah ditetapkan yaitu sebesar 900 µg/m³ untuk pengukuran satu jam (PP No. 41 Tahun 1999). Salah satu penyebabnya adalah karena masih banyaknya tumbuhan penyerap di pinggir jalan. Gambar 2 memperlihatkan fluktuasi harian konsentrasi gas SO₂ di jalan raya Kota Padang.



Gambar 2 Fluktuasi Harian Konsentrasi Gas SO₂ di Ketiga Lokasi Penelitian

Hasil pengukuran pada tahun 2015, diperoleh konsentrasi rata-rata gas SO₂ di Jl. Raya Bypass (jalan arteri) sebesar 140,85 µg/Nm³, Jl. Bagindo Azis Chan (jalan kolektor) sebesar 88,76 µg/Nm³ dan di Jl. Perintis Kemerdekaan (jalan lokal) sebesar 86,43 µg/Nm³ (Gunawan, H. dkk, 2015). Jika dibandingkan dengan hasil penelitian ini terlihat konsentrasi pada penelitian sebelumnya lebih tinggi. Perbedaan konsentrasi ini dipengaruhi oleh jumlah kendaraan berbahan bakar solar yang melewati masing-masing jalan. Semakin

banyak kendaraan berbahan bakar solar yang melintasi jalan tersebut, semakin besar kemungkinan adanya polutan gas SO₂ di udara ambien jalan raya. Konsentrasi rata-rata gas SO₂ di jalan raya Kota Padang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi gas SO₂ di jalan raya Kota Pekanbaru dengan konsentrasi rata-rata sebesar 51,91 µg/Nm³ (Kusumawati P.S. dkk, 2013).

Analisis Hubungan Jumlah Kendaraan Berbahan Bakar Solar dengan Konsentrasi Gas SO₂

Analisis regresi dan korelasi dilakukan untuk menganalisis hubungan antara jumlah kendaraan berbahan bakar solar dengan konsentrasi gas SO₂ di udara ambien jalan raya Kota Padang. Analisis regresi dilakukan untuk mendapatkan persamaan hubungan antara jumlah kendaraan berbahan bakar solar sebagai variabel bebas (x) dan konsentrasi gas SO₂ sebagai variabel tidak bebas (y), sedangkan analisis korelasi untuk mengukur derajat kedekatan suatu relasi yang terjadi antar variabel dengan nilai koefisien korelasi. Koefisien korelasi (r) dapat didefinisikan sebagai ukuran hubungan linear antara dua variabel. Angka korelasi berkisar antara 0 (tidak ada korelasi sama sekali) sampai dengan ± 1 (korelasi sempurna). Angka korelasi yang semakin mendekati 1 atau -1 berarti korelasi semakin erat sedangkan yang mendekati 0 berarti korelasi semakin lemah (Hasan, M.I., 2008)

Tabel 2 memperlihatkan persamaan hasil analisis regresi dan korelasi antara jumlah kendaraan berbahan bakar solar dengan konsentrasi gas SO₂ di udara ambien jalan raya Kota Padang. Dari tabel terlihat hubungan yang sangat kuat antara kedua parameter tersebut di ketiga jalan, dengan nilai korelasi (r) berkisar 0,950 – 0,958. Untuk Jl. Sudirman dan Jl. M. Yunus, persamaan yang terbentuk adalah dengan tipe regresi eksponensial, sedangkan di Jl. Imam Bonjol adalah tipe regresi linear. Semakin banyak jumlah kendaraan berbahan bakar solar yang melewati jalan, semakin tinggi konsentrasi gas SO₂ yang terukur di jalan tersebut. Nilai determinasi (R²) untuk ketiga jalan berkisar 0,903-0,917, yang berarti pengaruh jumlah kendaraan berbahan bakar solar terhadap keberadaan gas SO₂ di udara ambien jalan raya Kota Padang lebih dari 90%. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hodijah N., dkk (2014) bahwa kandungan sulfur dalam solar (0,2156 %) lebih besar daripada bensin (0,015 %) dan berat jenis bahan bakar solar (838 g/l) lebih besar daripada bensin (735 g/l). Kondisi inilah yang mempengaruhi nilai faktor emisi jenis kendaraan berbahan bakar solar terhadap keberadaan konsentrasi gas SO₂ di udara ambien jalan raya.

Tabel 2 Persamaan Hubungan Jumlah Kendaraan Berbahan Bakar Solar dan Konsentrasi Gas SO₂ di Udara Ambien Jalan Raya Kota Padang

Lokasi Penelitian	Fungsi Jalan	Persamaan	R ²	r	Korelasi
Jl. Sudirman	Arteri primer	$y = 43,872e^{0,0063x}$	0,903	0,950	sangat kuat
Jl. Imam Bonjol	Kolektor primer	$y = 0,8773x + 22,844$	0,906	0,952	sangat kuat
Jl. M. Yunus	Lokal primer	$y = 41,038e^{0,0093x}$	0,917	0,958	sangat kuat

Keterangan: y = Konsentrasi gas SO₂ (µg/Nm³)

x = Jumlah kendaraan berbahan bakar solar di masing-masing jalan (unit).

Untuk menguji apakah persamaan-persamaan yang dihasilkan di atas mempunyai hubungan yang signifikan antara kedua variabelnya, dilakukan uji regresi menggunakan SPSS 20. Interpretasi regresi dapat dilihat dari nilai signifikansi (α). Kedua variabel mempunyai hubungan yang signifikan jika nilai α < 0,05 dan kedua variabel tidak

berhubungan yang signifikan jika nilai $\alpha > 0,05$. Dari uji signifikansi diperoleh ketiga persamaan mempunyai nilai signifikansi $\alpha < 0,05$. Hal ini berarti bahwa pada tingkat kepercayaan 95%, persamaan hubungan jumlah kendaraan berbahan bakar solar dengan konsentrasi gas SO_2 dapat diterima.

Berikutnya dilakukan uji validasi, untuk membandingkan konsentrasi gas SO_2 hasil pengukuran dengan konsentrasi gas SO_2 dari hasil perhitungan dengan persamaan, atau dengan kata lain menghitung nilai *persen error* (E) antara konsentrasi hasil pengukuran dan konsentrasi hasil perhitungan. Konsentrasi hasil pengukuran merupakan konsentrasi yang diperoleh dari pengambilan sampel di ketiga jalan, sedangkan konsentrasi persamaan diperoleh dari hasil perhitungan dengan persamaan analisis regresi di atas. Dari perhitungan nilai persen error untuk ketiga jalan dalam penelitian ini diperoleh nilai E berkisar antara 10-18%. Dengan demikian, model persamaan hubungan jumlah kendaraan berbahan bakar solar dengan konsentrasi gas SO_2 di udara ambien jalan raya Kota Padang memberikan nilai persen error kurang dari 20%.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah adanya hubungan yang sangat kuat antara jumlah kendaraan berbahan bakar solar dengan keberadaan konsentrasi gas SO_2 di udara ambien jalan raya Kota Padang dengan nilai r berkisar 0,950 – 0,958. Model matematis hubungan kedua parameter ini ditunjukkan dengan persamaan $y = 43,872e^{0,0063x}$ untuk Jl. Sudirman (arteri), $y = 0,8773x + 22,844$ untuk Jl. Imam Bonjol (kolektor) dan $y = 41,038e^{0,0093x}$ untuk Jl. M. Yunus (lokal) dengan y adalah konsentrasi gas SO_2 , sedangkan x adalah jumlah kendaraan berbahan bakar solar. Dari uji validasi didapatkan persamaan-persamaan tersebut memberikan nilai persen error sebesar 10-18%. Hasil pengukuran juga menunjukkan konsentrasi gas SO_2 di jalan raya Kota Padang, yang berkisar antara 23,61-177,06 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, masih berada di bawah baku mutu udara ambien nasional.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kementerian Riset dan Teknologi Pendidikan Tinggi yang telah membantu mendanai kegiatan penelitian ini dalam skem Penelitian Fundamental tahun 2016 dengan kontrak no.28/UN.16/FD/LPPM/2016 serta Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Andalas yang telah memfasilitasi kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup (BPLH) DKI Jakarta, 2013. *Zat-zat Pencemar Udara*
- Chang_Hong Chen et.al. 2009. *Impact of Ambient Air Pollution on Public Health under Various Traffic Policies in Shanghai, China*. Biomedical and Environmental Science (22) : 210-215.
- Gunawan, H. Ruslinda Y., Anggela Y, 2015. *Pengaruh Karakteristik Lalu Lintas Terhadap Konsentrasi Gas NO_2 di Udara Ambien Roadside Jaringan Jalan Sekunder Kota Padang*. Prosiding 2nd ACE National Conference 2015, Hal. 88-94, 13 Agustus 2015, Padang.
- Hasan, M. I. 2008. *Pokok-pokok Materi Statistik 2 (Statistik inferensif) Edisi 2*. Bumi Aksara. Jakarta.

- Hodijah N., Amin B., Mubarak, 2014. *Estimasi Beban Pencemar dari Emisi Kendaraan Bermotor di Ruas Jalan Kota Pekanbaru*. Jurnal Dinamika Lingkungan Indonesia 1 (2):71-79.
- Kusminingrum, N dan Gunawan. 2008. *Polusi Udara Akibat Aktivitas Kendaraan Bermotor di Jalan Perkotaan Pulau Jawa Dan Bali*. Jurnal Pusat Litbang Jalan dan Jembatan 25 (3):314 - 326:
- Kusumawati, PS., Tang, UM., Nurhidayah, T., 2013. *Hubungan Jumlah Kendaraan Bermotor, Odometer Kendaraan dan Tahun Pembuatan Kendaraan dengan Emisi CO₂ di Kota Pekanbaru*. Jurnal Ilmu Lingkungan 7 (1):49-59.
- Noviani E., Ramayana K., Tetriana I., Istirokhatun T., 2013. *Pengaruh Jumlah Kendaraan dan Faktor Meteorologis (Suhu, Kecepatan Angin) terhadap Peningkatan Konsentrasi Gas Pencemar, CO, NO₂ dan SO₂ pada Persimpangan Jalan Kota Semarang (Studi Kasus: Jalan Karang Rejo Raya, Sukun Raya dan Ngesrep Timur V)*. Jurnal DIPA IPTEKS I (1):1-5
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 *tentang Pengendalian Pencemaran Udara*. Sekretaris Kabinet Republik Indonesia. Jakarta
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006, *tentang Jalan*. Kementerian Perhubungan Darat: Jakarta
- Ruslinda, Y, Hafidawati, 2012. *Komposisi Kimia Partikel Halus dan Partikel Kasar pada Siang dan Malam Hari di Udara Ambien Kota Padang*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia TOPI Universitas Riau 2012
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7119.9-2005, *tentang Pemantauan Kualitas Udara Roadside*. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.