

# Perbandingan Tingkat Kadar Gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di Udara Ambien Antara Metode Pasif dan Metode Aktif (Studi Kasus: Kota Jakarta)

## Comparison of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> Gas Levels in Ambient Air Between the Passive Method and Active Method (Case Study: Jakarta City)

ASRI INDRAWATI<sup>1\*</sup>, DYAH ARIES TANTI<sup>1</sup>, NANI CHOLIANAWATI<sup>1</sup>, ANDI SOFYAN<sup>2</sup>, WALUYO EKO CAHYONO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)  
Jl. Dr. Djundjunaan 133 Bandung 40173 Telp. 022 6037445 Fax. 022 6037443,

<sup>2</sup>LLHD Provinsi DKI Jakarta  
Email: asri.indrawati@lapan.go.id

### ABSTRACT

A comparison of the measurement results between the active method and the passive method was carried out to see the correlation between the resulting concentrations. The passive method used CSIRO passive sampler, while the active method used the Air Quality Monitoring System (AQMS). Sampling was conducted at AQMS Bundaran HI Jakarta Station, belonging to the Environment Laboratory of DLH DKI Jakarta. The sampling period was February - April 2019 for SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> parameters, with a sampling duration of three days for each data. Data was processed using the correlation method. Data filtering with boxplot was used to filter outlier data from the passive sampler and AQMS measurements. Meteorological factors were included in the correlation calculations because of their effect on gas absorption that occurred in the passive sampler. Meteorological factors used were temperature, humidity, and wind direction. The AQMS concentration value prediction was calculated using the correlation equation between the passive sampler and the AQMS. The results showed that the correlation coefficient value between the passive sampler and AQMS was 0.67 for SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> of 0.79. Multivariate correlation using meteorological data, to improve the correlation value, obtained correlation values of 0.97 for SO<sub>2</sub> and 0.94 for NO<sub>2</sub>. The predictive value of AQMS used a regression equation, with an average bias value of 4.4% for SO<sub>2</sub> and 9.9% for NO<sub>2</sub>, while the RMSE values were 0.89 for SO<sub>2</sub> and 4.41 for NO<sub>2</sub>. The results showed that the concentration of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> gas measurement results from the passive and active methods had a good and significant correlation.

**Keywords:** passive method, active method, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, AQMS

### ABSTRAK

Perbandingan hasil pengukuran antara metode aktif dan metode pasif dilakukan untuk melihat korelasi konsentrasi yang dihasilkan antara metode aktif dan metode pasif. Metode pasif menggunakan *passive sampler* CSIRO, sedangkan metode aktif menggunakan *Air Quality Monitoring System* (AQMS). Sampling dilakukan di Stasiun Pemantauan Kualitas Udara (SPKU) DKI 1 Bundaran HI milik Laboratorium Lingkungan Hidup DLH DKI Jakarta. Periode sampling dilakukan dari bulan Februari – April 2019 untuk parameter SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub>, dengan durasi sampling per tiga hari untuk satu data. Pengolahan data dilakukan dengan metode korelasi. Filter data dilakukan dengan menggunakan *boxplot* untuk memfilter data *outlier* dari pengukuran *passive sampler* dan AQMS. Faktor meteorologi dimasukkan dalam perhitungan korelasi karena pengaruhnya pada penyerapan gas yang terjadi di *passive sampler*. Faktor meteorologi yang digunakan adalah temperatur, kelembapan, dan arah angin. Prediksi nilai konsentrasi AQMS dihitung dengan menggunakan persamaan korelasi antara *passive sampler* dengan AQMS. Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai koefisien korelasi antara *passive sampler* dengan AQMS sebesar 0,67 untuk SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> sebesar 0,79. Korelasi multivariat menggunakan data meteorologi untuk memperbaiki nilai korelasi diperoleh nilai korelasi 0,97 untuk SO<sub>2</sub> dan 0,94 untuk NO<sub>2</sub>. Nilai prediksi AQMS menggunakan persamaan regresi, dengan nilai rata-rata bias 4,4% untuk SO<sub>2</sub> dan 9,9% untuk NO<sub>2</sub>, sedangkan nilai RMSE sebesar 0,89 untuk SO<sub>2</sub> dan 4,41 untuk NO<sub>2</sub>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi hasil pengukuran gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> metode pasif dan metode aktif mempunyai korelasi yang baik dan signifikan.

**Kata kunci:** metode pasif, metode aktif, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, AQMS

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemantauan kualitas udara dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu metode pasif dan metode aktif. Pada metode pasif, pengambilan sampel gas tergantung kepada energi kinetik dari molekul gas dan difusi gas yang masuk ke dalam media penyerap. Sedangkan metode aktif membutuhkan bantuan pompa untuk mengalirkan udara melalui wadah sampel udara<sup>(1)</sup>. Teknik pemantauan udara dengan metode aktif umumnya digunakan untuk pengukuran polutan udara secara rutin. Namun pemantauan variabilitas spasial kualitas udara menggunakan metode aktif jarang dilakukan, karena biaya operasional yang mahal dan kesulitan untuk daerah terpencil<sup>(2)</sup>. Dibandingkan dengan metode aktif, pemantauan kualitas udara dengan metode pasif memberikan banyak keuntungan, selain biaya yang murah, pemantauan secara pasif dapat diletakkan di daerah terpencil karena tidak membutuhkan listrik untuk pengoperasiannya<sup>(3)</sup>, sehingga metode pasif dapat digunakan untuk melihat distribusi polutan di udara baik secara spasial maupun temporal<sup>(2)</sup>.

Pemantauan konsentrasi gas polutan di udara ambien menggunakan metode pasif dilakukan dengan menggunakan *passive sampler*, misalnya untuk pemantauan gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub><sup>(3)</sup>. Pengembangan *passive sampler* telah dilakukan di beberapa negara seperti *Swedish Environmental Research Institute*, *Rupprecht and Patashnick Company (AS)*, *Laboratorium Aerologi di Toulouse (Perancis)*, *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) di Australia*, *Radiello*, dan lain sebagainya<sup>(4)</sup>.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait hasil perbandingan antara metode pasif dengan aktif diperoleh korelasi yang cukup signifikan dengan nilai  $r = 0,96$ <sup>(5)</sup>, dan  $r = 0,81$ <sup>(6)</sup>. Korelasi antara metode pasif dengan aktif sangat dipengaruhi oleh kondisi meteorologi seperti suhu, kelembapan relatif, dan pergerakan udara dari permukaan serta radiasi matahari. Musim juga mempunyai pengaruh terhadap kinerja dari *passive sampler*. Beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja metode pasif dapat membuat nilai konsentrasi yang diperoleh bisa lebih tinggi atau rendah terhadap nilai konsentrasi dari metode aktif<sup>(7)</sup>. Penelitian sebelumnya untuk daerah Bandung konsentrasi NO<sub>2</sub> dari *passive sampler* dipengaruhi oleh temperatur dan kecepatan angin, sedangkan SO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh kelembapan dan radiasi matahari<sup>(8)</sup>. Sehingga pada penelitian ini, faktor meteorologi juga akan diperhitungkan dalam korelasi antara metode pasif dan metode aktif.

Pemantauan kualitas udara di Indonesia sangat dibutuhkan, karena isu masalah lingkungan sekarang telah menjadi perhatian, terutama untuk daerah perkotaan seperti DKI Jakarta. Selain itu, kebakaran lahan dan hutan yang terjadi setiap tahunnya ikut menyumbang dalam deretan daftar masalah lingkungan yang terjadi di Indonesia. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, faktor utama yang mempengaruhi kualitas udara di daerah perkotaan di Indonesia adalah kepadatan penduduk, jumlah kendaraan serta luas RTH (Ruang Terbuka Hijau)<sup>(9)</sup>.

Tersedianya informasi yang tepat dan akurat dalam pemantauan konsentrasi polutan di udara sangat dibutuhkan oleh masyarakat, sehingga penambahan titik sampling mutlak harus dilakukan, tidak hanya untuk wilayah perkotaan, tapi juga meliputi daerah pedesaan atau terpencil. Pemantauan kualitas udara dengan metode pasif menggunakan *passive sampler*, dapat dijadikan alternatif dalam pemantauan kualitas udara, karena sesuai dengan kebutuhan, bisa diletakkan di daerah perkotaan, pedesaan maupun daerah terpencil.

### 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan pengukuran antara *passive sampler* dengan AQMS pada pengukuran gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di udara ambien. Korelasi antara hasil pengukuran metode pasif dan metode aktif yang diperoleh pada penelitian ini akan menunjukkan bahwa metode pasif dengan *passive sampler* CSIRO memiliki kemampuan yang sama dengan metoda aktif dalam pengukuran gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di udara ambien. Sehingga *passive sampler* CSIRO dapat digunakan untuk melengkapi data pemantauan kualitas udara pada daerah terpencil di Indonesia. Data pemantauan tersebut nantinya akan berguna untuk menentukan kebijakan yang berkaitan dengan lingkungan hidup di Indonesia ataupun dapat digunakan sebagai data primer pada prediksi kualitas udara.

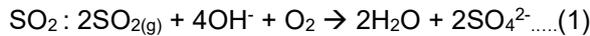
## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1 Bahan

Penelitian ini menggunakan data konsentrasi NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> dari *passive sampler* CSIRO dan AQMS serta data meteorologi yang diperoleh dari *Automatic Weather Station (AWS)* yang dimiliki oleh LLHD Provinsi DKI Jakarta. Meteorologi yang digunakan adalah data temperatur, kelembapan udara dan kecepatan angin.

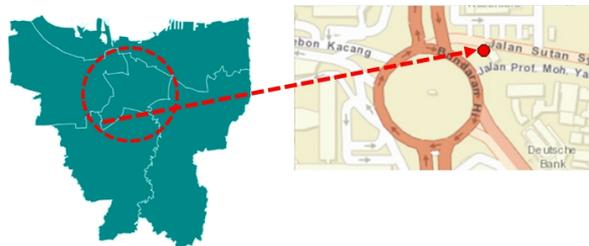
Bahan kimia yang digunakan sebagai larutan penyerap pada *passive sampler*, yaitu untuk SO<sub>2</sub> adalah NaOH yang dilarutkan dalam

methanol. Sedangkan untuk NO<sub>2</sub> adalah NaOH dan NaI yang dilarutkan dalam metanol<sup>(10)</sup>. Reaksi kimia yang terjadi pada filter adalah sebagai berikut<sup>(11)</sup>:



## 2.2 Metode

Sampling dilakukan di satu titik Stasiun Pemantau Kualitas Udara LLHD Prov. DKI Jakarta, yaitu di Bundaran HI, Jakarta Pusat dengan titik koordinat 6°11'40.24" LS dan 106°49'25.00" BT. *Passive sampler* diletakkan *co-located* dengan AQMS milik LLHD Prov. DKI Jakarta. *Passive sampler* diletakkan dekat dengan inlet gas dari AQMS.



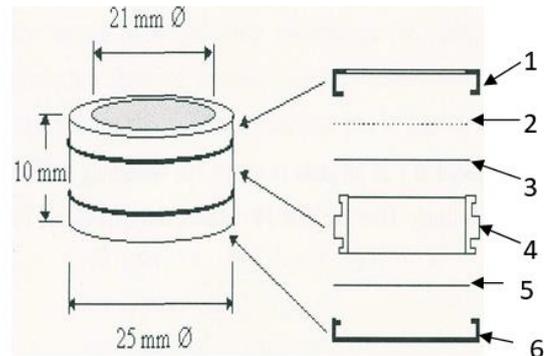
Gambar 1. Lokasi *sampling* Bundaran HI, Jakarta Pusat

Periode *sampling* dilakukan dari bulan Februari – Mei 2019 dengan durasi *sampling* per tiga hari untuk satu data. Parameter yang diuji adalah gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di udara ambien. Bundaran HI dipilih karena mewakili daerah perkotaan dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi setiap harinya.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *passive sampler* dan AQMS. Prinsip kerja dari *passive sampler* yaitu berdasarkan prinsip difusi molekul. Molekul gas akan berdifusi ke dalam *sampler* dan berkumpul pada filter, dimana filter tersebut sebelumnya telah diberi larutan penyerap yang spesifik untuk masing-masing gas sebanyak 50 µL dengan luas penampang filter penyerap 25 mm. *Passive sampler* mengumpulkan gas dari atmosfer dengan laju *sampling* yang dikendalikan oleh proses fisik seperti difusi atau permeasi molekul melalui *membrane filter*. Konsentrasi gas-gas tersebut dihitung berdasarkan hukum difusi pertama Fick<sup>(12)</sup>.

*Passive sampler* terdiri dari 2 bagian, yaitu bagian atas yang terdiri dari lapisan penutup bagian atas yang berfungsi sebagai *inlet gas*, *fine mesh* (*stainless steel mesh*) yang berfungsi untuk transportasi udara dan filter teflon dengan pori 1 µm yang berguna untuk meminimalkan difusi turbulen udara dan mencegah masuknya partikulat ke dalam filter penyerap. Bagian

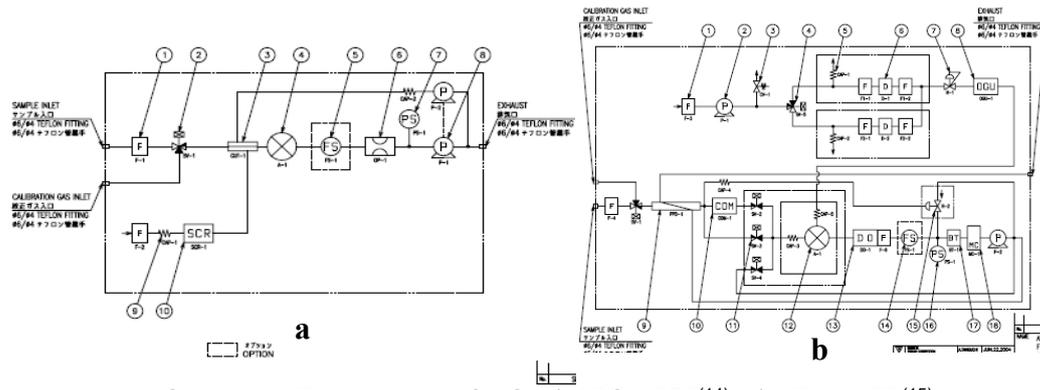
bawah terdiri atas filter penyerap dan penutup bagian bawah. Filter penyerap menggunakan filter dengan pori 0,45 µm. Diantara bagian atas dan bawah, terdapat *ring* yang berfungsi sebagai penyambung bagian atas dan bagian bawah *passive sampler*<sup>(13)</sup>.



Gambar 2. Penampang *passive sampler*. Bagian atas : (1) penutup bagian atas; (2) lapisan *stainless steel mesh*; (3) filter teflon. Bagian penghubung : (4) *ring*. Bagian bawah : (5) filter penyerap; (6) lapisan penutup bagian bawah<sup>(9,11)</sup>.

AQMS yang digunakan untuk pengukuran SO<sub>2</sub> yaitu tipe APSA-370 sedangkan untuk NO<sub>2</sub> adalah APNA-370. Pengukuran dengan AQMS membutuhkan bantuan pompa untuk menarik gas dari atmosfer kemudian masuk ke dalam sistem. Untuk SO<sub>2</sub>, metode yang digunakan adalah fluoresensi UV. Molekul SO<sub>2</sub> dalam gas akan mengalami eksitasi oleh radiasi ultraviolet sehingga memancarkan fluoresensi dalam kisaran panjang gelombang 220-420 nm. Konsentrasi SO<sub>2</sub> diperoleh dari nilai perubahan intensitas fluoresensi<sup>(14)</sup>.

Pada NO<sub>2</sub>, metode yang digunakan adalah *chemiluminescence*. Sampel gas dibedakan menjadi dua aliran, yaitu udara yang digunakan untuk mengukur konsentrasi NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>) dengan mereduksi NO<sub>2</sub> menjadi NO dengan bantuan konverter NO<sub>x</sub>, dan satu lagi untuk pengukuran konsentrasi NO secara langsung. Udara masuk melalui filter yang kemudian dikeringkan dengan silika gel untuk membentuk ozon (O<sub>3</sub>) dalam sebuah *ozone generator*. O<sub>3</sub> yang dihasilkan kemudian masuk ke dalam ruang reaksi. Dalam ruang reaksi O<sub>3</sub> ditambahkan ke sampel gas yang mengandung NO<sub>x</sub>, sebagian NO dalam sampel gas teroksidasi menjadi NO<sub>2</sub>. Beberapa NO<sub>2</sub> yang dihasilkan berada dalam keadaan tereksitasi (NO<sub>2</sub><sup>\*</sup>) yang memancarkan cahaya dalam keadaan de-eksitasi, emisi cahaya yang terlibat dalam reaksi terdeteksi oleh fotodiode. Instrumen ini menghitung konsentrasi NO, NO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> dari pembacaan fotodiode<sup>(15)</sup>.



Gambar 3. Penampang AQMS, a) APSA-370<sup>(14)</sup>; b) APNA-370<sup>(15)</sup>

Setelah *sampling*, filter penyerap *passive sampler* untuk gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> dianalisis di dalam laboratorium. Filter tersebut diekstrak dengan menggunakan *aquabidest* sebanyak 5 mL, kemudian untuk memperoleh hasil ekstraksi yang maksimal, sampel dimasukkan ke dalam *ultrasonic cleaner*. Analisis untuk SO<sub>2</sub> menggunakan kromatografi ion ICS 1500 DIONEX dengan larutan *eluent* NaCO<sub>3</sub> 2,7 mM dan NaHCO<sub>3</sub> 0,3 mM. Analisis SO<sub>2</sub> dengan kromatografi ion akan terbaca sebagai SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Sedangkan untuk analisis NO<sub>2</sub> menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm.

Perhitungan konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> *passive sampler* menggunakan rumus berikut di bawah ini<sup>(10)</sup>:

$$C_o = \frac{EV \times C_{aq} \times R'}{t \times D} \dots\dots\dots(3)$$

$$[C] = \frac{C_o \times Mw}{1000} \dots\dots\dots(4)$$

Di mana, C<sub>o</sub> adalah konsentrasi gas ambien dalam nmol/m<sup>3</sup>, EV adalah volume ekstraksi dalam cm<sup>3</sup>, C<sub>aq</sub> adalah konsentrasi larutan SO<sub>2</sub> atau NO<sub>2</sub> (μmol L<sup>-1</sup>), R' adalah total resistensi sampel (m<sup>-1</sup>), untuk *sampling outdoor* sebesar 41,2 m<sup>-1</sup> untuk gas SO<sub>2</sub> dan 49,78 m<sup>-1</sup> untuk gas NO<sub>2</sub>. D merupakan koefisien difusi gas di udara sebesar 1,32 x 10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s untuk SO<sub>2</sub> dan 1,54 x 10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s untuk NO<sub>2</sub>, nilai t merupakan waktu *sampling* dalam satuan detik. Untuk mengonversi satuan nmol/m<sup>3</sup> ke dalam satuan μg/m<sup>3</sup> menggunakan persamaan (4).

Pada persamaan (4) nilai [C] adalah konsentrasi gas SO<sub>2</sub> atau NO<sub>2</sub> dalam satuan μg/m<sup>3</sup>, nilai C<sub>o</sub> konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> dalam satuan nmol/m<sup>3</sup> dan Mw adalah berat molekul dari SO<sub>2</sub> atau NO<sub>2</sub>, untuk SO<sub>2</sub> 64,06 g/mol, sedangkan untuk NO<sub>2</sub> adalah 46,01 g/mol.

Data AQMS diperoleh setiap tiga menit, data ini kemudian diolah menjadi data per jam, yang selanjutnya dilakukan rata-rata tiga harian sesuai dengan durasi *sampling* dari *passive*

*sampler*. Data *passive sampler* dan AQMS kemudian difilter untuk melihat nilai *outlier* dengan menggunakan *boxplot*. Filter data dilakukan untuk menghilangkan kesalahan yang terjadi pada saat *sampling* maupun analisis sampel di laboratorium yang akan mempengaruhi pada pengambilan kesimpulan dari hasil uji statistik.

Analisis statistik yang digunakan adalah uji korelasi sederhana dan uji korelasi multivariat. Pada uji multivariat dilakukan penambahan faktor meteorologi dalam uji korelasi antara konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> *passive sampler* dan AQMS. Hal ini dilakukan untuk melihat pengaruh faktor meteorologi terhadap konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> dari *passive sampler*, karena faktor meteorologi diduga mempunyai pengaruh dalam proses difusi gas ke dalam *passive sampler*. Selanjutnya persamaan garis yang dihasilkan dari korelasi antara *passive sampler* dan AQMS digunakan untuk mendapatkan nilai prediksi konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> AQMS. Perhitungan bias pada nilai prediksi AQMS menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Bias = \frac{|C_p - C|}{C} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Di mana C<sub>p</sub> adalah nilai konsentrasi prediksi sedangkan C adalah nilai konsentrasi pengukuran dengan AQMS sebagai nilai referensi. Perhitungan *Root Means Square Error* (RMSE) untuk mengetahui seberapa besar nilai eror dari nilai konsentrasi prediksi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> yang diperoleh, yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_p - C_i)^2} \dots\dots\dots(6)$$

Di mana n adalah jumlah sampel, C<sub>p</sub> adalah nilai prediksi konsentrasi gas, dan C adalah nilai konsentrasi gas AQMS.

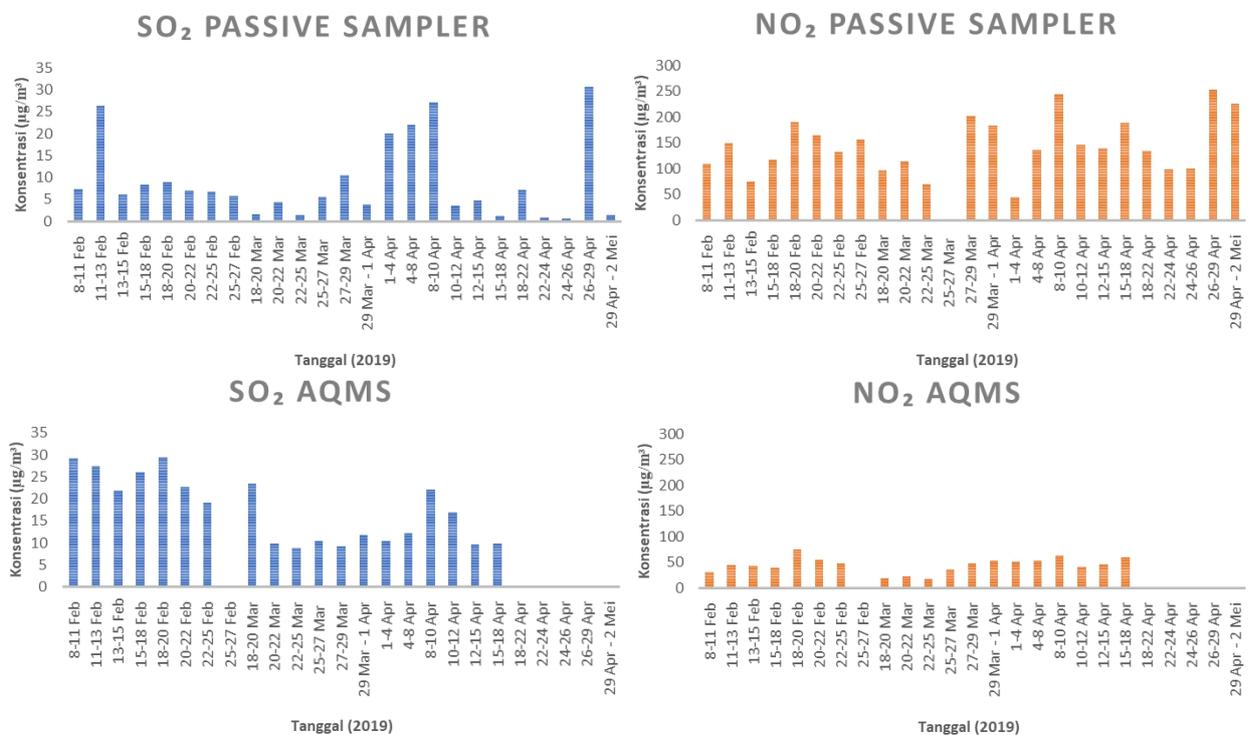
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub>

Pelaksanaan sampling dengan *passive sampler* dan AQMS dilakukan dalam durasi tiga harian. Selama periode sampling, terdapat beberapa data kosong dari AQMS, sehingga data yang dipergunakan disesuaikan dengan ketersediaan data AQMS. Berdasarkan Gambar 4 terlihat konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> untuk durasi sampling tiga harian dan nilai konsentrasi AQMS yang telah di rata-rata 3 harian. Data yang diperoleh dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan Gambar 4, terlihat fluktuasi konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> dari pengukuran dengan *passive sampler* dan AQMS. Setelah didapatkan set data antara *passive sampler*

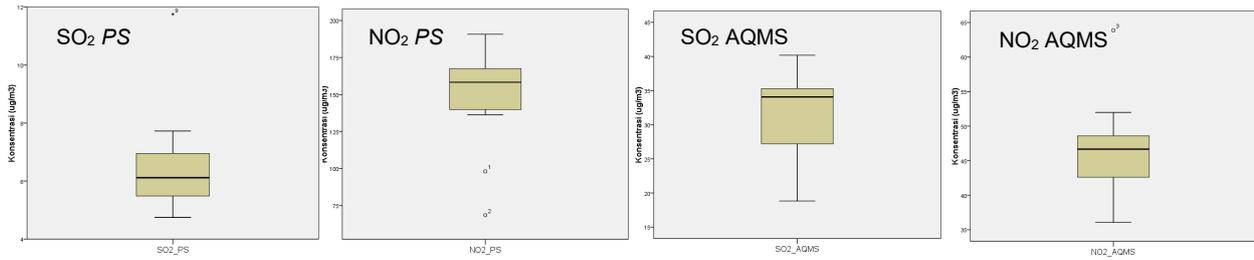
dengan AQMS yang disesuaikan dengan ketersediaan data AQMS, proses pengolahan data selanjutnya adalah menghilangkan nilai pencilan dari masing-masing nilai konsentrasi *passive sampler* dan AQMS. Penghilangan *outlier* ini dimaksudkan untuk melakukan koreksi data terhadap hasil sampling yang telah dilakukan, karena dalam sampling *passive sampler*, terdapat beberapa tahapan yaitu persiapan filter penyerap, perakitan *passive sampler*, sampling, dan analisis sampel. Pada masing-masing tahapan proses *passive sampler* dikhawatirkan terdapat kesalahan yang dapat mempengaruhi hasil. Proses pengolahan data untuk menghilangkan *outlier* dilakukan dengan menggunakan *boxplot* serta menggunakan jarak antara nilai rata-rata dan median terhadap data, seperti yang tersaji pada Tabel 1.



Gambar 4. Hasil sampling SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> *passive sampler* dan AQMS di Bundaran HI, Jakarta.

Tabel 1 Data hasil sampling SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> *passive sampler* dan AQMS

Keterangan	<i>Passive Sampler</i> (µg/m <sup>3</sup> )		AQMS (µg/m <sup>3</sup> )	
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
<b>N</b>	25	25	1142	1142
<b>Minimum</b>	0,59	1,89	0,32	2,97
<b>Maksimum</b>	30,69	252,27	63,30	142,72
<b>Rata-rata</b>	8,93	138,80	17,08	43,85
<b>Median</b>	6,15	136,47	16,06	41,60
<b>Standar Deviasi</b>	8,90	60,19	9,83	23,86



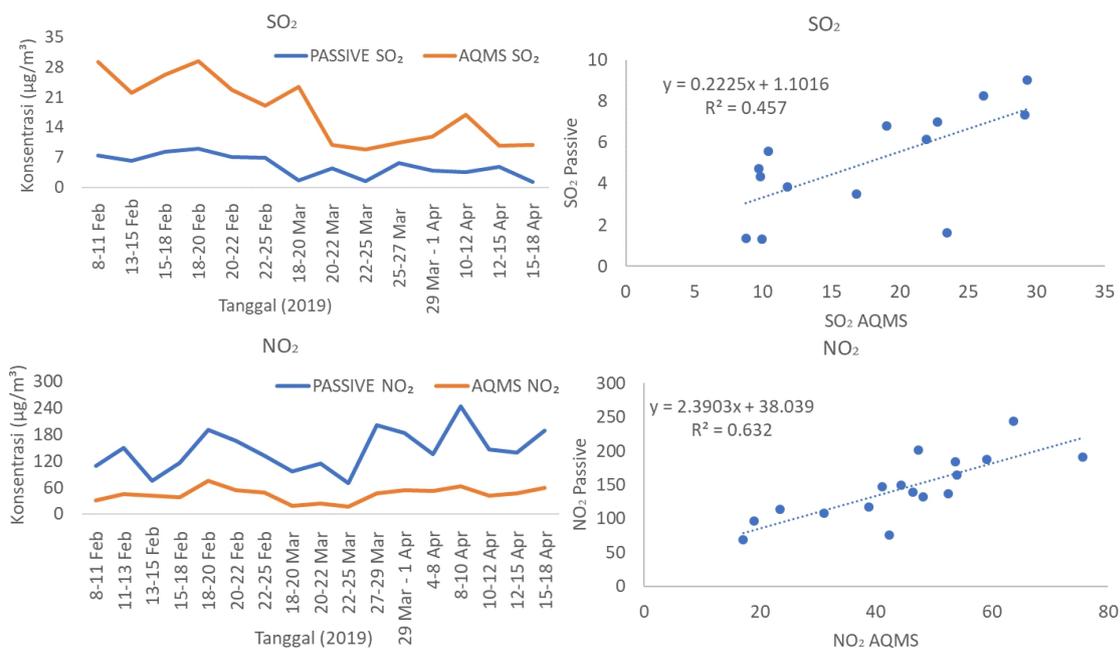
Gambar 5. Hasil pengolahan *Boxplot* untuk data konsentrasi *passive sampler* (PS) dan AQMS

Dari analisis dengan *boxplot* pada Gambar 5 terlihat untuk konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dari *passive sampler* memiliki 1 data *extreme*, sedangkan untuk NO<sub>2</sub> memiliki 1 data *outlier* dan 1 data *extreme*. Untuk konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dari AQMS tidak memiliki data *outlier* maupun data *extreme* sedangkan NO<sub>2</sub> memiliki 1 data *extreme*. Terlihat bahwa sebaran data baik konsentrasi dari *passive sampler* maupun AQMS tidak berdistribusi secara normal. Selanjutnya filter data dilakukan dengan melihat jarak data-data dengan nilai rata-rata dan median. Data yang memiliki jarak yang jauh dari rata-rata dan median dihilangkan dan dianggap sebagai *outlier*.

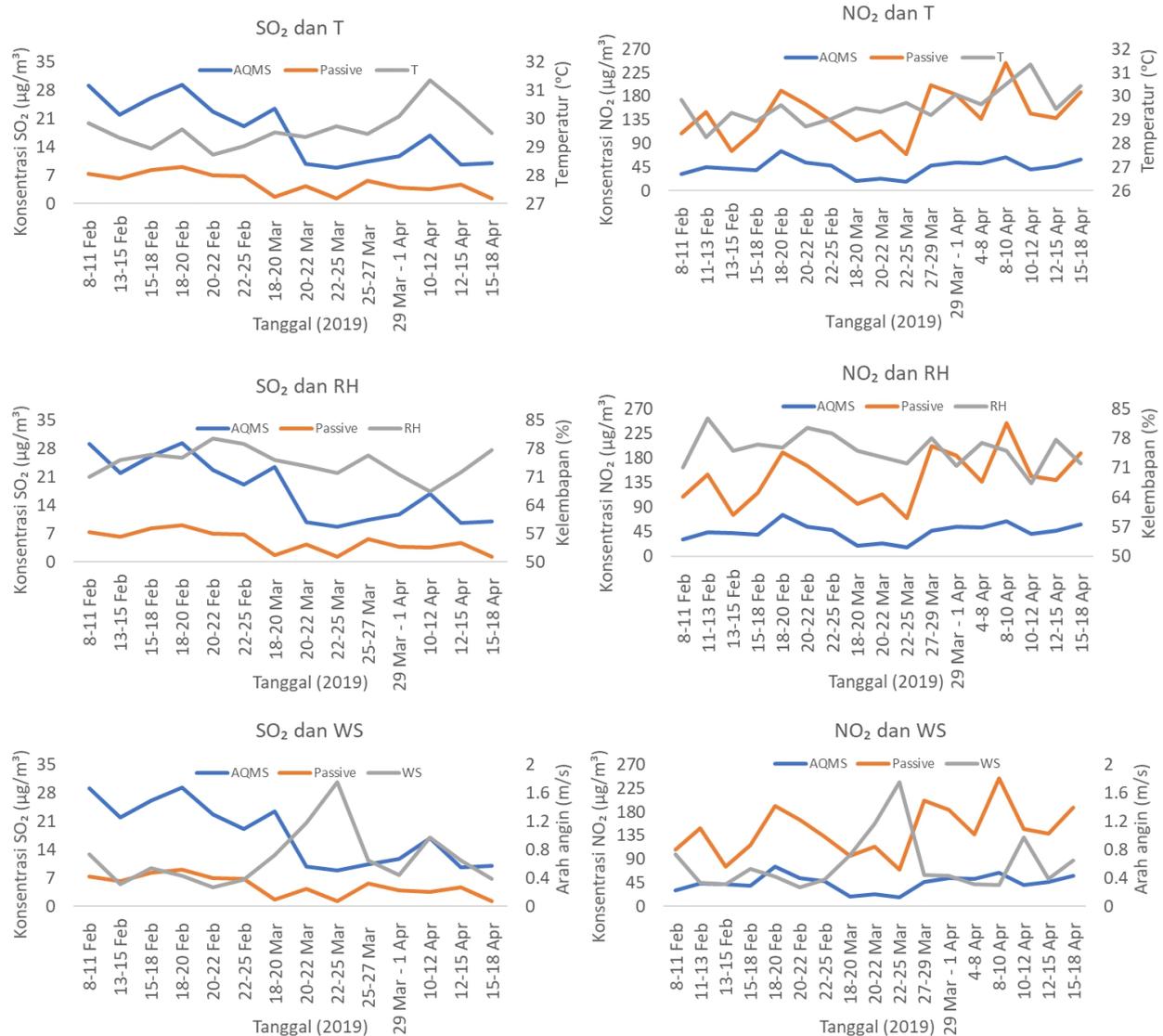
Berdasarkan Gambar 6, terlihat hasil konsentrasi *passive sampler* dan AQMS yang telah dilakukan filter data. Rentang konsentrasi untuk gas NO<sub>2</sub> dari *passive sampler* terlihat lebih tinggi bila dibandingkan dengan hasil pengukuran AQMS. Sedangkan untuk konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dari *passive sampler* sedikit lebih rendah bila dibandingkan dengan pengukuran AQMS. Pola konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> untuk *passive sampler* dan AQMS terlihat hampir sama, ketika konsentrasi SO<sub>2</sub> atau NO<sub>2</sub> dari *passive sampler* turun, maka konsentrasi

pengukuran AQMS juga turun. Penelitian yang dilakukan oleh Khuriganova et al<sup>(16)</sup>, mengenai perbandingan antara metode pasif dan metode aktif juga mendapatkan hasil yang menunjukkan nilai konsentrasi SO<sub>2</sub> dari metode pasif lebih rendah dibandingkan dengan metode aktif. Hal ini diduga berhubungan dengan kinerja dari *passive sampler* yang sangat tergantung pada difusi gas dan reaksi yang terjadi dalam filter penyerap<sup>(7)</sup>.

Berdasarkan Gambar 6, uji korelasi dilakukan untuk melihat hubungan antara konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari *passive sampler* dan AQMS menunjukkan hasil dengan hubungan yang linier dengan nilai koefisien korelasi untuk SO<sub>2</sub> sebesar 0,67 dan untuk NO<sub>2</sub> sebesar 0,79. Persamaan korelasi yang diperoleh yaitu  $SO_{2passive} = 0,223(SO_{2AQMS}) + 1,1$ ;  $NO_{2passive} = 2,390(NO_{2AQMS}) + 28,04$ . Uji t menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara pembacaan hasil dari *passive sampler* dan AQMS. Hal ini dapat dilihat dari pola dan rentang konsentrasi yang diperoleh, di mana pada saat konsentrasi *passive sampler* naik, AQMS mengikuti naik begitu pula sebaliknya.



Gambar 6. Pola konsentrasi dan korelasi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> untuk *passive sampler* dan AQMS



Gambar 7. Pola konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> *passive sampler* dan AQMS terhadap temperatur (T), kelembapan (RH) serta kecepatan angin (WS)

### 3.2 Faktor Meteorologi

Perbedaan nilai konsentrasi gas yang diperoleh dapat disebabkan adanya potensi ketidakspesifikan dan ketidaklinieran dalam kinerja *passive sampler*. Penyerapan polutan yang terjadi di dalam filter *passive sampler* dipengaruhi oleh kondisi meteorologi, seperti suhu, kelembapan relatif, dan pergerakan udara dari permukaan, serta radiasi matahari. Kondisi musiman juga dapat mempengaruhi kinerja *passive sampler*. Karena banyak sekali faktor yang mempengaruhi kinerja *passive sampler*, konsentrasi gas yang diperoleh dari *passive sampler* biasanya berada di bawah atau di atas nilai konsentrasi yang diperoleh dari sampling udara dengan menggunakan *continuous analyzer*<sup>(12)</sup>.

Menurut penelitian yang telah dilakukan sebelumnya di Bandung mengenai pengaruh faktor meteorologi terhadap *passive sampler*

CSIRO, didapatkan bahwa temperatur mempunyai hubungan yang signifikan terhadap konsentrasi NO<sub>2</sub> dan radiasi matahari berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi SO<sub>2</sub> dalam *passive sampler*<sup>(8)</sup>. Beberapa faktor meteorologi seperti temperatur, kelembapan, kecepatan angin, dan radiasi matahari, berhubungan langsung dengan kinerja (laju penyerapan gas) dari larutan penyerap pada *passive sampler*<sup>(12)</sup>. Selain itu, penentuan durasi sampling juga harus diperhitungkan sebagai faktor yang dapat mempengaruhi konsentrasi dalam *passive sampler*<sup>(17)</sup>. Pada penelitian ini, temperatur, kelembapan, dan kecepatan angin, digunakan sebagai faktor yang berpengaruh terhadap korelasi antara konsentrasi gas dari *passive sampler* dengan konsentrasi gas AQMS.

Kondisi meteorologi suatu wilayah mempunyai pengaruh yang besar terhadap konsentrasi yang terukur pada suatu titik

pengamatan di wilayah itu, karena adanya variasi meteorologi yang berubah setiap waktu. Variasi parameter meteorologi ini berkaitan dengan kemampuan atmosfer dalam proses pengenceran, penyebaran, dan difusi dari senyawa polutan yang berasal dari sumbernya<sup>(18)</sup>. Berdasarkan Gambar 7, untuk SO<sub>2</sub> memperlihatkan pola konsentrasi yang mengikuti pola temperatur, namun pada bulan Maret, terlihat pola yang berlawanan antara temperatur dengan konsentrasi SO<sub>2</sub>. Sedangkan untuk kelembapan dan kecepatan angin menunjukkan pola yang berlawanan, yaitu ada saat kelembapan dan kecepatan angin tinggi, konsentrasi SO<sub>2</sub> rendah, begitu pula sebaliknya. Pada gas NO<sub>2</sub> terlihat, konsentrasi gas NO<sub>2</sub> mengikuti pola dari temperatur dan kelembapan, sedangkan untuk kecepatan angin menunjukkan pola yang berlawanan.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, pada Gambar 8, terlihat bahwa korelasi dengan penambahan faktor meteorologi yaitu temperatur, kelembapan, dan kecepatan angin untuk konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> *passive sampler* serta AQMS menunjukkan nilai korelasi yang lebih kuat bila dibandingkan dengan korelasi antara *passive sampler* dan AQMS tanpa penambahan faktor meteorologi, yaitu untuk SO<sub>2</sub> dari 0,67 menjadi 0,97, sedangkan untuk NO<sub>2</sub> dari 0,79 menjadi 0,94.

Persamaan yang digunakan untuk memperoleh konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> *passive sampler* serta AQMS dengan memasukkan faktor meteorologi, yaitu:

$$SO_{2passive}' = 127,70 - 2,8T - 0,50RH - 4,00WS \dots\dots\dots(7)$$

$$SO_{2AQMS}' = 456,20 - 9,6T - 1,94RH - 12,11WS \dots\dots\dots(8)$$

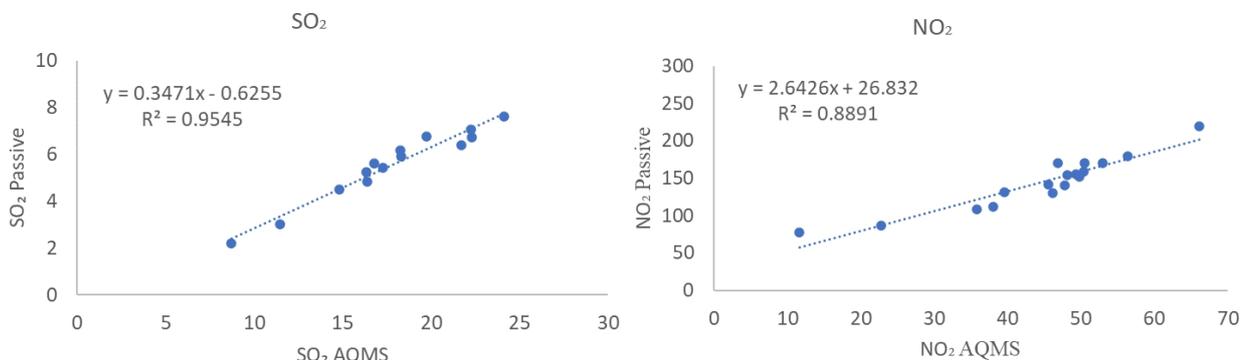
$$NO_{2passive}' = -2977,31 + 75,61T + 12,01RH - 32,25WS \dots\dots\dots(9)$$

$$NO_{2AQMS}' = -611,11 + 2,30T + 16,79RH - 23,85WS \dots\dots\dots(10)$$

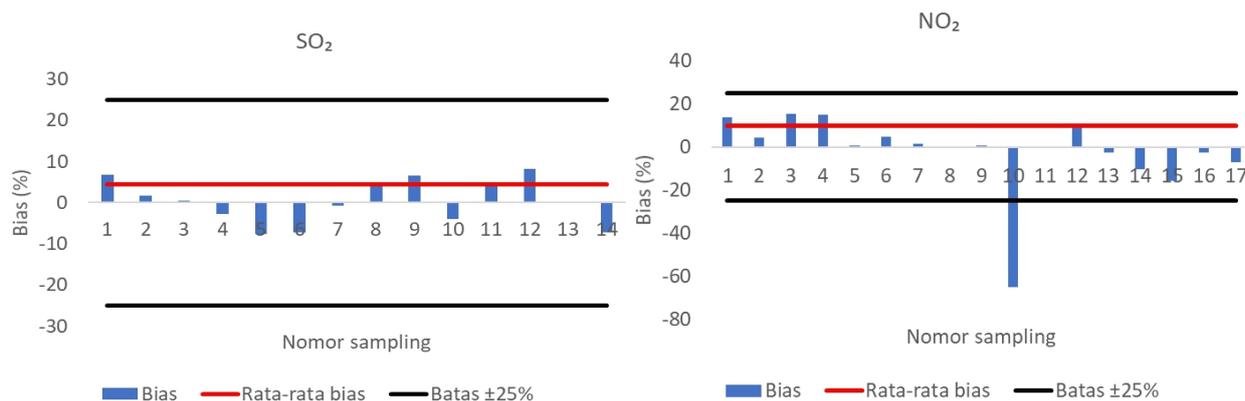
### 3.3 Bias dan Error

Berdasarkan persamaan nilai korelasi yang diperoleh dengan memperhitungkan faktor meteorologi, digunakan untuk memprediksi nilai konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> AQMS. Hal ini dilakukan untuk melihat besarnya bias dan eror yang diperoleh dalam penelitian ini. Hasil menunjukkan, rata-rata nilai bias sebesar 4,44% dan nilai RMSE sebesar 0,89 untuk SO<sub>2</sub>. Sedangkan untuk NO<sub>2</sub> rata-rata nilai bias sebesar 9,9% dan nilai RMSE sebesar 4,14. Pada Gambar 9, terlihat bahwa untuk SO<sub>2</sub> mempunyai nilai bias yang memenuhi persyaratan, sedangkan untuk NO<sub>2</sub> terdapat satu data yang melebihi nilai batas keberterimaan, dengan bias sebesar 65%. Terdapatnya bias antara pengukuran *passive sampler* dengan AQMS dapat disebabkan karena ketidakmampuan *passive sampler* untuk menyerap gas dalam waktu yang pendek dan konsentrasi yang tinggi<sup>(19)</sup>.

Nilai bias yang diperoleh dari penelitian ini memenuhi persyaratan, jika mengikuti acuan dari *United State National of Safety and Health*<sup>(20)</sup> dan *The European Union (EU) Directive 2008/50/EC*<sup>(21)</sup> untuk batas keberterimaan nilai bias antara konsentrasi *passive sampler* dengan *continuous analyzer* sebesar ±25%. Sedangkan untuk nilai RMSE, terlihat bahwa, nilai RMSE yang diperoleh baik untuk SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> memberikan nilai RMSE yang kecil, menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan dari model regresi antara *passive sampler* dengan AQMS mendekati nilai observasi.



Gambar 8. Korelasi antara konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> untuk *passive sampler* dan AQMS dengan penambahan faktor meteorologi



Gambar 9. Bias antara nilai prediksi konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> terhadap nilai AQMS

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa perbandingan antara konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> dengan metode pasif dan metode aktif mempunyai nilai koefisien korelasi yang cukup kuat dan signifikan. Penambahan faktor meteorologi memperbaiki nilai koefisien korelasi menjadi lebih baik. Prediksi dari konsentrasi AQMS dengan menggunakan persamaan korelasi yang melibatkan faktor meteorologi memberikan nilai bias dan RMSE yang mendekati nilai sebenarnya yang ditandai dengan kecilnya nilai RMSE, yaitu sebesar 0,89 untuk SO<sub>2</sub> dan 4,14 untuk NO<sub>2</sub>. Hal ini menunjukkan bahwa metode pasif dengan *passive sampler* CSIRO memiliki kemampuan yang sama dengan metoda aktif dalam pengukuran gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di udara ambien.

#### PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer (PSTA) LAPAN untuk pendanaan penelitian ini, Laboratorium Kimia PSTA, LAPAN untuk analisis data yang dilakukan di laboratorium serta para teknisi AQMS LLHD Prov. DKI Jakarta.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Office of Teaching & Digital Learning. (2016). Exposure Assessment: Introduction to Basic Concepts, Air Monitoring. Boston University School of Public Health. Diakses pada tanggal 23 Oktober 2020 dari <https://sphweb.bumc.bu.edu/otlt/mph-modules/exposureassessment/exposureassessment8.html>.
- Bari, M. A., Curran, R. L. T., & Kindzierski, W. B. (2015). Field performance evaluation of Maxxam passive samplers for regional monitoring of ambient SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> concentrations in Alberta, Canada. *Atmospheric Environment*, 114, 39-47.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.05.031>.

- Leiva G, M. A., Gonzales, B., Vargas, D., Toro, R., & Morales S, R. G. E. (2013). Estimating the uncertainty in the atmospheric ammonia concentration in an urban area by Ogawa passive samplers. *Microchemical Journal*, 110, 340-349. doi:<https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.05.004>
- Salem, A. A., Soliman, A. A., & El-Haty, I. A. (2009). Determination of nitrogen dioxide, sulfur dioxide, ozone, and ammonia in ambient air using the passive sampling method associated with ion chromatographic and potentiometric analyses. *Air Qual Atmos Health*, 2(3), 133-145. doi:10.1007/s11869-009-0040-4
- Mukerjee, S., Smith, L. A., Norris, G. A., Morandi, M. T., Gonzales, M., Noble, C. A., Neas, L. M., Ozkaynak, A. H. (2004). Field method comparison between passive air samplers and continuous monitors for Voc's and NO<sub>2</sub> in El Paso, Texas. *J Air Waste Manag Assoc*, 54(3), 307-319. doi:10.1080/10473289.2004.10470903
- Rosario, L., Pietro, M., & Francesco, S. P. (2016). Comparative Analyses of Urban Air Quality Monitoring Systems: Passive Sampling and Continuous Monitoring Stations. *Energy Procedia*, 101, 321-328. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.041>
- Krupa, S. V., & Legge, A. H. (2000). Passive sampling of ambient, gaseous air pollutants: an assessment from an ecological perspective. *Environmental Pollution*, 107(1), 31-45. doi:[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00154-2](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00154-2)
- Indrawati, A., Tanti, D. Y., Mulyono, & Budiwati, T. (2017). Pengaruh Parameter Meteorologi Terhadap Deposisi Sulfur dan

- Nitrogen. Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer – PSTA, LAPAN. 60 – 67.
9. Prabhandhari, D. (2014). Analisis Status Kualitas Udara Lima Koa Metropolitan di Indonesia. Tugas Akhir. Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
  10. Powell, J. (2007). Chemlab wet chemistry measurement, work instructional manual for NATA accredited laboratories, CMAR-NATA-WC-2.0.2nd Edition.
  11. Adon, M., Galy-Lacaux, C., Yoboué, V., Delon, C., Lacaux, J. P., Castera, P., . . . Mouglin, E. (2010). Long term measurements of sulfur dioxide, nitrogen dioxide, ammonia, nitric acid and ozone in Africa using passive samplers. *Atmos. Chem. Phys.*, 10(15), 7467-7487. doi:10.5194/acp-10-7467-2010.
  12. Campos, V. P., Cruz, L. P. S., Godoi, R. H. M., Godoi, A. F. L., & Tavares, T. M. (2010). Development and validation of passive samplers for atmospheric monitoring of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>S in tropical areas. *Microchemical Journal*, 96(1), 132-138. doi:https://doi.org/10.1016/j.microc.2010.02.015.
  13. Indrawati A., Tanti, D. A., Sumaryati. (2019). Perhitungan Konsentrasi Nitrogen Oksida (NO, NO<sub>x</sub>) ambien dengan menggunakan konsentrasi NO<sub>2</sub> dan O<sub>3</sub> dari *passive sampler* (Studi kasus: Cipedes Bandung). *Jurnal Sains Dirgantara*, 16 (2), 91 – 104.
  14. Horiba. (2009). APSA-370 Operation Manual. Diakses pada tanggal 29 Mei 2020 dari ([https://www.horiba.com/fileadmin/uploads/Process-Environmental/Documents/Manuals\\_US/Ambient/APSA-370\\_Operation\\_manual\\_e.pdf](https://www.horiba.com/fileadmin/uploads/Process-Environmental/Documents/Manuals_US/Ambient/APSA-370_Operation_manual_e.pdf)).
  15. Horiba. (2009). APNA-370 Operation Manual. Diakses pada tanggal 29 Mei 2020 dari ([https://www.horiba.com/fileadmin/uploads/Process-Environmental/Documents/Manuals\\_US/Ambient/APNA-370\\_Operation\\_manual\\_e.pdf](https://www.horiba.com/fileadmin/uploads/Process-Environmental/Documents/Manuals_US/Ambient/APNA-370_Operation_manual_e.pdf)).
  16. Khuriganova, O. I., Obolkin, V. A., Golobokova, L. P., Bukin, Y. S., & Khodzher, T. V. (2019). Passive Sampling as a Low-Cost Method for Monitoring Air Pollutants in the Baikal Region (Eastern Siberia). *Atmosphere*, 10(8), 470.
  17. Górecki, T., & Namieśnik, J. (2002). Passive sampling. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 21(4), 276-291. doi:https://doi.org/10.1016/S0165-9936(02)00407-7.
  18. Winardi. (2014). Pengaruh Suhu dan Kelembapan Terhadap Konsentrasi Pb di Udara Kota 67 Pontianak. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Borneo Akcaya*. 01(1), 17 – 22.
  19. Hsu, Y.-M. (2013). Trends in Passively-Measured Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide Concentrations in the Athabasca Oil Sands Region of Alberta, Canada. *Aerosol and Air Quality Research*, 13(5), 1448-1463. doi:10.4209/aaqr.2012.08.0224.
  20. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (1994). NIOSH Manual of Analytical Methods, fourth ed. DHHS Publication 94-113, Atlanta, GA.
  21. European Commission. (2008). Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. *Off. J. Eur. Union L* 152, 1e44, 11.6.2008. [http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri%3DOJ:L:2008:152:0001:0044:EN:PDF%3Fclimate\\_normals/index\\_e.html](http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri%3DOJ:L:2008:152:0001:0044:EN:PDF%3Fclimate_normals/index_e.html).