

PEMANFAATAN PASSIVE SAMPLER UNTUK MONITORING KUALITAS NO₂ DALAM UDARA AMBIEN DI BEBERAPA LOKASI DI INDONESIA

Joko Prayitno Susanto

Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Abstract

Analysis methods by using passive sampler for the content of pollutant materials in the ambient air, such as the content of NO₂, SO₂, O₃, etc, has been widely used and applied in several countries. The advantage of this method is easier to carry and more moveable, and taking samples among various locations with different weather, compares to others. In Indonesia this method is not much known yet.

The writers through a collaboration of research with The University of Tokushima-Japan, is trying to apply one of passive sampler method in order to measure the concentration of NO₂ in the air on several locations in Jakarta, Surabaya and Bandung. Hence, The result of analyze in Indonesian was comparing with the result in the others country by used the same methods.

The conclusion of this research is the quality of the air on Indonesian city worse than the Asia city, so in the future Indonesian government can give more attention to handle the air pollutant.

Kata kunci: *Passive sampler, Analisa NO₂, Udara ambien.*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Nitrogen dioksida (NO₂) merupakan bahan polutan udara terpenting, yaitu sebagai salah satu komponen utama yang memberikan kontribusi terhadap kualitas udara maupun kualitas air hujan (hujan asam) yang terjadi, disamping sulfur dioksida (SO₂).

Di dalam atmosfer, NO_x merupakan suatu kelompok gas yang terutama terdiri dari dua komponen utama yaitu gas nitrit oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂), serta oksida-oksida nitrogen lainnya yang sangat kecil jumlahnya. NO merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sebaliknya NO₂ berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam.

Sebagai bahan pencemar, sumber pencemaran gas NO_x ini dapat berasal dari sumber alami seperti berasal dari aktivitas bakteri. Disamping itu, aktivitas manusia juga merupakan penyebab terjadinya pencemaran udara oleh gas ini. Sumbangan terbesar dari kegiatan manusia terhadap polusi NO_x bersumber dari hasil kegiatan-kegiatan yang menggunakan proses pembakaran pada temperatur yang cukup tinggi. Hal ini berkaitan dengan reaksi pembentukan gas NO_x dalam

atmosfir sangat dipengaruhi oleh faktor temperatur.

Pada suhu kamar, pembentukan NO yang dihasilkan dari reaksi antara gas oksigen dan gas nitrogen akan berlangsung sangat lambat. Berbeda dengan hal ini, pada temperatur diatas 1200°C, gas oksigen dan gas nitrogen akan bereaksi sangat cepat untuk menghasilkan nitrit oksida.

Dengan kandungan udara yang terdiri dari 79% gas nitrogen, 20% gas oksigen dan 1% gas-gas yang lain, maka pada proses pembakaran pada kegiatan industri maupun pada kendaraan bermotor, akan terjadi proses reaksi yang menghasilkan NO_x sesuai dengan persamaan reaksi (1) dan (2) di atas. Sehingga emisi NO_x dari hasil pembakaran tidak tergantung pada kualitas bahan baku yang digunakan, tetapi sangat tergantung pada tinggi rendahnya temperatur pembakaran.

Berbeda dengan sumber pencemar NO_x yang bersifat alami, sumber pencemar dari hasil aktifitas manusia ini cenderung terkonsentrasi pada daerah tertentu, sehingga emisi gas ke dalam atmosfer juga akan terakumulasi pada daerah tersebut dan daerah sekitarnya, seperti pada daerah perkotaan dan daerah industri.

Pencemaran NO_x di udara mempunyai dampak terhadap lingkungan, baik langsung maupun tidak langsung.

Dampak langsung dari pencemaran udara ini adalah terjadinya hujan asam yang dapat menyebabkan berbagai kerugian dan kerusakan, baik pada tanaman, bangunan dll. Disamping itu, polusi NO_x ini dapat berdampak terhadap kesehatan manusia, seperti bronhitis, asma, kelainan fungsi tenggorokan (*bronchoconstricting agent*)⁽¹⁾.

Beberapa contoh dampak pencemaran NO₂ diatas, menuntut pentingnya upaya pencegahan dan pengendalian pencemaran udara pada umumnya dan pencemaran NO₂ pada udara ambien khususnya.

Berbagai cara telah banyak digunakan untuk menganalisa kadar NO₂ udara ambien, baik yang konvensional, seperti dengan metode TEA plate⁽²⁾, maupun yang sudah menggunakan teknologi tinggi seperti alat monitoring otomatis yang banyak ditempatkan pada stasiun tempat monitor kualitas udara di perkotaan padat lalu lintas maupun daerah industri.

Metoda passive sampler ini, dikembangkan berdasarkan hukum Fick dan hukum Henry, sangat mudah untuk mengukur polutan-polutan udara di luar ruangan (*outdoor*) maupun di dalam ruangan (*indoor*), dan dapat dikembangkan untuk menganalisa sekaligus beberapa polutan secara simultan. Disamping itu, beberapa keunggulan dapat diperoleh seperti sangat mudah untuk pengambilan sampel, tidak diperlukan battery maupun pompa saat pengambilan sampel, tidak terpengaruh perubahan cuaca seperti oleh kecepatan/arah angin, kelembaban udara dll.

Berdasarkan keunggulan-keunggulan ini, berbagai jenis *passive sampler* dikembangkan seperti oleh E. Yamada⁽³⁾ dan T. Korenaga dkk.⁽⁴⁾, yang telah mengembangkan passive sampler untuk mengukur kadar gas SO₂ udara ambien. Disamping untuk mengukur bahan polutan secara terpisah, passive sampler ini juga telah dikembangkan untuk menganalisa secara simultan beberapa polutan sekaligus seperti pengukuran gas NO₂ dan gas SO₂⁽⁵⁾

Dalam paper ini, penulis mencoba memperkenalkan metode *passive sampler*, yang merupakan metode baru untuk menganalisa kadar gas NO₂ udara ambien, yang telah dikembangkan oleh Yanagisawa⁽⁶⁾ guna mengukur kadar gas NO₂ udara ambien di berbagai lokasi di Jakarta dan sekitarnya.

1.2. Tinjauan Pustaka

a. Passive Sampler

Dalam Jurnal Teknologi Lingkungan sebelumnya telah secara detail menguraikan tentang metode *passive sampler* ini, baik dari sisi teori, peralatan, reaksi- kimia yang terjadi, prosedur analisa serta cara penghitungan kadar NO₂⁽⁷⁾.

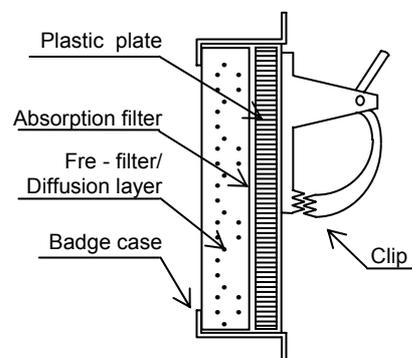
Secara prinsip, dengan metode ini, konsentrasi gas asam (NO₂ dan SO₂) akan terserap pada *passive sampler* mengikuti Hukum Fick, Hukum Henry dan teori *absorption* (penyerapan) gas. Dasar dari metode ini adalah adanya proses penyerapan bahan polutan (gas) menggunakan *coefficient mass transfer* (koefisien pemindahan masa) K_{OG}. *Mass flux* (aliran masa) yang di pindahkan melalui difusi molekuler dihitung dengan menggunakan Hukum Henry sehingga diperoleh hubungan antara Aliran massa yang terserap, koefisien pemindahan masa, luas permukaan *passive sampler*, suhu, dll yang dinyatakan dalam persamaan matematis sebagai berikut :

$$M = K_{OG} \times A \times T \times (1/RT) \times f_{gas} \times 10^{-9}$$

dimana :

- M adalah Aliran massa yang terserap,
- K_{OG} adalah koefisien pemindahan masa
- T adalah temperatur,
- R adalah konstanta gas ideal dan
- f_{gas} adalah konsentrasi NO₂ yang terserap (ppb).

Salah satu jenis *Passive sampler* yang telah dikembangkan untuk pengukuran kadar NO₂ adalah Jenis yang telah dikembangkan oleh Yanagisawa⁽⁸⁾. Jenis ini mempunyai *diffusion layer* (lapisan difusi) yang melindungi *absorption filter* (filter penyerap) sebelum terjadi proses penyerapan gas NO₂. Skema *passive sampler* jenis Yanagizawa ini ditunjukkan pada Gambar 1 berikut :



Gambar 1. *Passive Sampler* Jenis Yanagizawa

Passive sampler ini secara umum dibagi dalam 2 bagian, yaitu *diffusion zone* (bagian difusi) dan *absorbent zone* (bagian penyerapan).

Diffusion zone ini terdiri dari lapisan-lapisan bahan terbuat dari *polytetrafluorethylene*. Lapisan ini digunakan untuk melindungi bagian penyerapan terhadap kecepatan angin yang dapat mempengaruhi proses reaksi maupun penyerapan gas NO₂ ke dalam lapisan penyerap. Sedangkan bagian penyerapan terbuat dari filter cellulose yang mengandung larutan *triethanolamine* (TEA), yang berfungsi sebagai bahan penyerap gas NO₂.

Untuk menghitung jumlah gas NO₂ yang terserap pada *passive sampler*, digunakan persamaan garis lurus yang diperoleh dari hubungan antara konsentrasi NO₂ standar dengan absorbansi dengan menggunakan detektor analisa spektropotometer. Persamaan yang diperoleh Yanagizawa adalah⁽⁸⁾ :

$$(I - I_0) = (3,65 \times 10^{-6}) \times M$$

Dimana I adalah absorbansi setelah penyerapan gas NO₂, I₀ adalah absorbansi sebelum penyerapan gas NO₂, M adalah jumlah gas NO₂ yang terserap pada *passive sampler* dan (3,65 x 10⁻⁶) adalah konstanta yang diperoleh dari kalibrasi.

Berdasarkan hasil penelitiannya, Yanagizawa memperoleh nilai K_{OG} sebesar 0,14 cm/detik, yaitu nilai yang diperoleh pada kondisi sampling : temperatur 20 °C (293 °K), kelembaban udara relatif : 60% dan kecepatan angin : 2 m/detik. Luas permukaan filter yang digunakan untuk menyerap NO₂ ditetapkan 9,88 cm², waktu sampling dilaksanakan selama 24 jam (86.400 detik) dan konstanta gas ideal adalah 82,05 cm².atm/mol.°K. Dengan variabel tersebut, maka diperoleh

$$M = 4,97 \times 10^{-9} \times f_{NO_2}$$

Sehingga hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi yang diserap pada filter selama 24 jam adalah

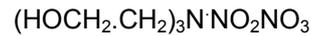
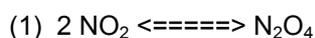
$$(I - I_0) = (3,65 \times 10^{-6}) \times 4,97 \times 10^{-9} \times f_{NO_2}$$

atau

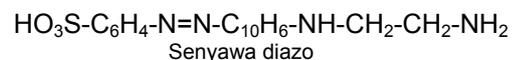
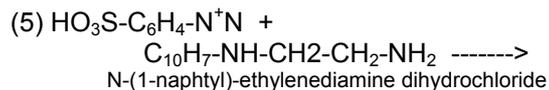
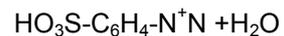
$$f_{NO_2} = 55 \times (I - I_0)$$

b. Reaksi kimia

Menurut Gold⁽⁹⁾, mekanisme reaksi yang terjadi antara *triethanolamine* dengan gas NO₂ melalui pembentukan senyawa antara *nitroso ammonium nitrate* sebagai berikut :



Sedangkan dalam metode *passive sampler* ini, pada saat analisa sampel terjadi reaksi pembentukan senyawa diazo berdasarkan mekanisme reaksi Griess sebagai berikut :



Senyawa diazo yang terbentuk merupakan senyawa berwarna oranye kemerah-merahan yang dapat dianalisa menggunakan spektropotometer pada panjang gelombang (λ) 525 nm.

2. METODA PENELITIAN

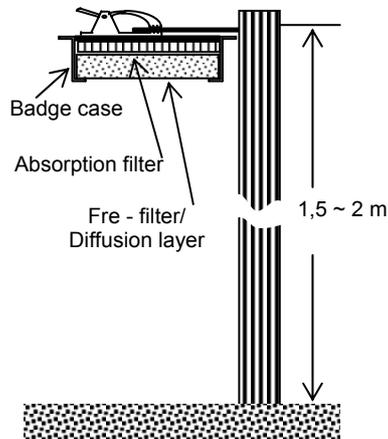
2.1. Lokasi Pengambilan Sampel

Dengan menggunakan *passive sampler* yang dikembangkan oleh Yanagizawa⁽⁸⁾, Dilakukan pengukuran konsentrasi gas NO₂ di beberapa lokasi, yaitu Jakarta dan sekitarnya, Surabaya serta Bandung,. Lokasi-lokasi tersebut dipilih didasarkan pada asumsi bahwa lokasi-lokasi ini mewakili daerah pemukiman yang tingkat pencemarannya masih rendah dan daerah perkotaan yang tingkat pencemarannya sudah cukup tinggi sebagai dampak dari perkembangan industrialisasi dan transportasi di kota-kota tersebut.

Lokasi pengambilan sampel untuk wilayah Jakarta dan sekitarnya adalah 1. Puspiptek Serpong (Kabupaten Dati II Tangerang), 2. Perumahan Pondok Safari Indah (Kabupaten Dati II Tangerang), 3. Jalan Bangka (Kodya Jakarta Selatan), 4. Cakung (Kodya Jakarta Timur) dan 5. Gedung BPPT (Kodya Jakarta Pusat). Untuk kota Bandung lokasi pengambilan sampel pada Komplek Perumahan Suka Menak-Kopo yang berdekatan dengan terminal Leuwi Panjang, Bandung. Sedangkan lokasi di Surabaya, masing-masing adalah 1. Wonokromo, 2. Perumahan Darmo Permai, 3. SIER Rungkut. Pertimbangan pemilihan lokasi di dua kota terakhir ini adalah merupakan daerah

pemukiman yang dekat dengan wilayah keramaian (terminal dan jalan raya).

2.2. Metode Pengambilan Sampel



Gambar 2. *Badge Passive Sampler* dan posisi sampling untuk pengukuran NO_2

Untuk pengambilan sampel di lapangan, mula-mula *badge passive sampler* dikeluarkan dari dalam kemasan kantong *polyethylene* (sebagai pelindung terhadap kontaminasi udara), selanjutnya, *badge passive sampler* ditempatkan pada lokasi yang terlindung dari hujan dengan cara menggantungnya pada suatu tempat selama 24 jam atau kelipatannya sesuai dengan prediksi konsentrasi NO_2 setempat. Setelah sampling, *badge passive sampler* dimasukkan kembali ke dalam kantong semula dan kantong ditutup rapat dengan menggunakan selotip untuk menghindari kontaminasi udara. Dalam kantong ini, sampler dapat bertahan dalam waktu yang cukup lama sebelum dilakukan analisa kimia di laboratorium.

2.3. Waktu Pengambilan Sampel

Penelitian dilaksanakan secara simultan mulai tanggal 25 Agustus 1997 ~ 29 Agustus 1997. Pengambilan sampel untuk masing-masing adalah :

- Jakarta dan sekitarnya, pada tanggal 25 Agustus 1997 ~ 29 Agustus 1997
- Bandung, pada tanggal 25 Agustus 1997 ~ 26 Agustus 1997
- Surabaya, pada tanggal 27 Agustus 1997 ~ 29 Agustus 1997

2.4. Bahan dan Prosedur Analisa Sampel

2.4.1. Bahan

Passive sampler yang digunakan adalah *passive sampler Filter Badge*, produksi Toyo Roshi Ltd., Tokyo, Japan.

Sebagai pelarut, digunakan air distilasi yang diperoleh melalui pemurnian air hasil distilasi menggunakan alat *Milli-Q Lab system* (Millipore, Milford, MA, USA).

Larutan Salzman. Dibuat dengan melarutkan 5 gram asam sulfanilat ke dalam labu ukur yang telah berisi 700 ml air distilasi, menambahkan 50 ml asam fosfat pekat kedalam larutan tersebut, dan mengocoknya hingga sempurna. Selanjutnya ke dalam larutan ini ditambahkan 50 ml larutan larutan *N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 0,1% (w/w)*, dan diencerkan sehingga menjadi 1000 ml.

2.4.2. Prosedur Analisa Sampel

Untuk menganalisa NO_2 dalam sampler, pertama-tama filter penyerap dikeluarkan dari badge dengan mengikuti petunjuk yang diberikan. Analisa kandungan NO_2 dilaksanakan dengan angkah-langkah sebagai berikut :

1. Filter penyerap yang telah menyerap NO_2 , dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 10 ml larutan Salzman.
2. Mengocok larutan di atas selama 10 menit pada suhu antara $25^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$, dan mengulangi sampai 4 kali sehingga seluruh NO_2 yang terserap dalam filter bereaksi sempurna dengan pereaksi.
3. Memindahkan larutan ke dalam *cell quarsa* ukuran 10 mm, mengukur absorbansi larutan (I) menggunakan detektor spektropotometer pada λ 525 nm. (Dalam pengukuran absorbansi ini dipakai larutan Salzman sebagai larutan pembanding).
4. Untuk memperoleh absorbansi larutan blanko (I_0), mengulang langkah-langkah 1 ~ 3 di atas dengan menggunakan filter penyerap yang belum digunakan untuk sampling.
5. Dari hasil absorbansi sampel dan absorbansi blanko, maka kadar NO_2 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (11), yaitu $f_{\text{NO}_2} = 55 \times (I - I_0)$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran NO₂ di masing-masing lokasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kadar NO₂ Udara Ambien pada Beberapa Lokasi di Indonesia, Tahun 1997

Kota/Lokasi	NO ₂ (ppb)	
	Rata-rata (n)	STDEV
I. JAKARTA dan Sekitarnya		
➤ Puspiptek	11,37 (6)	0,58
➤ Pondok Safari Indah	21,89 (9)	0,86
➤ Jl. Bangka	26,17 (9)	4,97
➤ RPH Cakung	23,68 (6)	0,74
➤ BPPT, Jl. Thamrin	38,0 (12)	2,64
II. Bandung		
➤ Perumahan Suka Menak-Kopo	16,82 (6)	0,39
III. Surabaya		
➤ Wonokromo	46,4 (1)	-
➤ Perumahan Darmo Permai	26,0 (1)	-
➤ SIER Rungkut	37,5 (1)	-
➤ Tunjungan	26,7 (1)	-
➤ Klenjeran	24,7 (1)	-
Baku Butu Nasional⁽¹⁰⁾	≤ 50 ppb	-

Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa secara umum kadar NO₂ di jalan Bangka, Jakarta Selatan (di anggap mewakili kualitas udara kota Jakarta) hampir 3 (tiga) kali lipat nilai yang diperoleh dari lokasi Puspiptek Serpong (yang dianggap mewakili kualitas udara luar kota). Buruknya kualitas udara Jakarta ini, diduga sebagian besar merupakan kontribusi dari emisi kendaraan yang cukup padat setiap hari.

Hal yang sama dapat dilihat dari hasil pengukuran kualitas udara di Kota Surabaya yang memberikan kecenderungan pada daerah padat lalu lintas (Wonokromo dan SIER Rungkut) lebih buruk dibandingkan dengan daerah perumahan (perumahan Darmo Permai).

Dalam skala nasional dapat dibandingkan bahwa dari nilai tertinggi kualitas NO₂ pada masing-masing kota menunjukkan bahwa Kota Surabaya merupakan kota yang mempunyai tingkat pencemaran tertinggi (46,4 ppb) yang diikuti oleh Kota Jakarta (38,0 ppb) dan Kota Bandung (16,82 ppb). Namun demikian, apabila dibandingkan dengan baku mutu udara sebagaimana diatur didalam Peraturan Pemerintah RI Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, kadar NO₂ ini masih dibawah nilai ambang batas baku mutu yang ditentukan.

Selanjutnya, dalam kerangka kerjasama penelitian "Grant-In Acid For International Scientific Research" yang memperoleh dana dari Ministry of Education, Science, Sports and Culture, Japan; dimana penulis terlibat sebagai salah satu anggotanya, hasil pengukuran ini apabila dibandingkan dengan hasil pengukuran NO₂ di beberapa kota di negara Asia (Tabel 2) menunjukkan bahwa kualitas NO₂ di udara ambien Jakarta, relatif buruk dibandingkan dengan kualitas udara di kota-kota Asia lainnya.

Dari Tabel 2 tersebut juga dapat dikatakan bahwa kualitas udara di beberapa kota di Asia telah mengalami penurunan. Hal ini secara langsung telah berdampak terhadap kualitas kualitas air hujan di kota yang bersangkutan, sebagaimana digambarkan di dalam Tabel 3. Hal ini mengingat bahwa NO₂ merupakan salah satu komponen yang menentukan keasaman air hujan, disamping pengaruh komponen lain seperti SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻ dan lain sebagainya. Dari tabel tersebut, menunjukkan bahwa keasaman (pH) air hujan di beberapa kota sebanding dengan kadar NO₂ nya.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kadar NO₂ Udara Ambien beberapa Kota di Asia.

Kota (Negara)	Posisi Sampling	Kadar NO ₂	Baku Mutu
Jakarta (Indonesia)	Outdoor	38,0 ppb	≤ 50 ppb ⁽¹⁰⁾ (24 jam)
	Indoor	3.1 ppb	
Kuala Lumpur ⁽¹¹⁾ (Malaysia)	Outdoor	22.1 ppb	≤ 170 ppb (1 jam)
	Indoor	4.3 ppb	
Singapore ⁽¹¹⁾ (Singapore)	Outdoor	13.0 ppb	-
	Indoor	7.4 ppb	
Bangkok ⁽¹¹⁾ (Thailand)	Outdoor	38.4 ppb	≤ 170 ppb (1 jam)
	Indoor	12.1 ppb	
Tokushima ⁽¹¹⁾ (Japan)	Outdoor	33.6 ppb	≤ 40 ppb (24 jam)
	-	-	

Dari hasil-hasil analisa udara yang telah diperoleh melalui penggunaan *Passive Sampler* ini, selanjutnya dapat dikatakan bahwa penggunaan metode ini dalam menganalisa kadar NO₂ di udara ambien, cukup efektif dan mempunyai tingkat keakuratan yang dapat dipertanggungjawabkan. Hal ini dapat dilihat dengan membandingkan hasil sampling di dalam ruangan (*indoor*) dan di luar ruangan (*outdoor*) yang menunjukkan adanya perbedaan yang cukup besar. Dengan demikian, metoda ini dapat digunakan untuk mengukur NO₂ dalam kadar yang tinggi, maupun untuk pengukuran kadar rendah.

Dengan demikian metoda ini cukup layak untuk digunakan sebagai alat memonitor kualitas NO₂ yang praktis dan sederhana, baik memonitor

daerah yang belum tercemar maupun daerah-daerah yang telah tercemar berat seperti daerah-daerah industri.

Tabel 3. Rata-rata pH, pAi dan Konsentrasi Ion-Ion Utama Dalam Air Hujan di Beberapa Kota Di Asia (ppm), Tahun 1997

Kota (Negara)	E.C. (μScm^{-1})	pH	pAi	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Jakarta (Indonesia)	41,5	4,69	3,66	3,02	2,94	4,52	0,75	0,91	1,0	T.D.	0,71
Kuala Lumpur (Malaysia) ⁽¹¹⁾	43,02	4,21	3,84	1,75	2,59	4,94	0,33	0,83	0,74	0,01	0,56
Bangkok (Thailand) ⁽¹¹⁾	53,95	6,04	3,53	1,72	6,63	9,08	0,82	0,44	0,65	0,56	9,26
Tokushima (Japan) ⁽¹¹⁾	21,25	4,78	4,40	3,23	0,89	1,58	1,35	0,40	0,22	0,06	0,11

Keterangan : 1. E.C. : Electric conductivity; 2. Ai : Input acidity; 3. nss-SO₄²⁻ : non sea salt SO₄²⁻; 4. pAi = - log (2x[nss-SO₄²⁻] + [NO₃]); 5. T.D. : Trace Amount of Detection

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa dengan menggunakan metode *passive sampler* tersebut dapat disimpulkan bahwa :

1. Metode ini cukup sederhana dan mudah diterapkan sehingga dimungkinkan memonitor kualitas udara mulai dari perkotaan sampai seluruh pelosok. Untuk mendukung metode ini hanya diperlukan peralatan laboratorium sederhana, seperti spektropotometer.
2. Hasil analisa NO₂ di beberapa lokasi menunjukkan bahwa kualitas udara Kota Jakarta sudah mencapai tingkat yang mengkuatirkan, sehingga menjadi peringatan bagi instansi yang terkait dengan masalah pengendalian udara.
3. Kualitas udara di beberapa kota di Asia telah mengalami penurunan. Namun demikian kualitas NO₂ di udara ambien Jakarta menunjukkan kualitas yang lebih buruk dibandingkan dengan kota-kota Asia lainnya.

4.1. Saran

1. Mengingat buruknya kualitas udara kota Jakarta, perlu lebih digiatkan usaha monitoring dan pengendalian/pencegahan polusi melalui pengetatan terhadap peraturan-peraturan lingkungan yang terkait.

2. Mengingat terbatasnya fasilitas laboratorium di Indonesia, maka disarankan dalam rangka memonitor kualitas NO₂ dapat digunakan teknologi-teknologi murah dan sederhana seperti *passive sampler*, dibanding menggunakan teknologi tinggi yang diperoleh melalui pinjaman Luar Negeri.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bauer, M.A. et.al., 1984, "0.30 ppm nitrogen dioxide inhalation potentiates exercise-induced broncho-spasm in asthmatic", American review of respiratory disease, hal 129-151
2. S. C. Barton and H. G. Mcadie, 1974, *A Cumulative Survey Technique for Atmospheric Nitrogen Dioxide*, Presentation note at the 67th annual meeting of the air pollution control association.
3. E. Yamada, 1996, *Spatial Analysis of Pollution in Kyoto by Using Sensitive Diffusional Samplers*, Annual Report Grand Aid International Scientific Research 1995~1996 Number 07044171, Ministry of Education, Science and Culture, Japan
4. T. Korenaga and Y. Yanagisawa, 1995, *Development of Passive Sampler for Sulfur Dioxide Monitoring*, Journal of Ecotechnology Research, **Vol. 1 No. 2**
5. T. Korenaga, 1999, *Simultaneous SO₂, NO₂ Monitoring With Passive Sampling and Advanced Micro-Sensing Devices in China*, Annual Report Grand Aid International Scientific Research 1996~1998 Number

- 08041125, Ministry of Education, Science and Culture, Japan
6. Y. Yanagisawa, 1982, *Environmental International*, Vol. 8, p. 235~242
 7. Susanto, J. P. dan Prayudi, T., 2000, Penerapan Metode Passive Sampler Untuk Analisa NO₂ Udara Ambien di Beberapa Lokasi Di Jakarta, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 1, Nomor 3, BPPT, Jakarta
 8. Y. Yanagizawa and K. Sugiura, 1996, *Introduction of The Yanagizawa Badge (NO₂ Filter Badge)*, Annual Report Grand Aid International Scientific Research 1995~1996
 9. A. Gold, 1977, *Stoichiometry of Nitrogen Dioxide Determination in The Triethanolamine Trapping Solution*, *Analytical Chemistry*, Vol. 49, p. 1448~1450.
 10. Peraturan Pemerintah RI Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.
 11. Sanae Ikeda, 1999, "Simple SO_x, NO_x Measurement For Acid Rain in South-East Asia", Faculty Og Engineering, University of Tokushima, Japan.