

PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP DIFUSIVITAS SAMPLER PASIF TIPE TUBE UNTUK PENGUKURAN NO₂ EFFECT OF TEMPERATURE ON THE DIFFUSIVITY OF PASSIVE SAMPLER TUBE TYPE FOR NO₂ MEASUREMENT

*¹Yulinda Hastuti, ²Irsyad, dan ³Driejana

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,
Jl Ganesha 10 Bandung 40132

e-mail : ¹yulindahastuti@gmail.com, ²mohirsyad@tl.itb.ac.id, dan ³driejana@yahoo.com

Abstrak: Nitrogen dioksida merupakan gas polutan yang cukup penting. Sumber utama nitrogen dioksida adalah emisi kendaraan bermotor dan proses pembakaran di industri. NO₂ merupakan polutan penyebab hujan asam dan dapat menyebabkan kerusakan paru-paru kronis pada konsentrasi yang tinggi. Untuk mengantisipasi hal tersebut, diperlukan adanya pemantauan kualitas udara terhadap konsentrasi NO₂ di udara ambien. Salah satu metode pemantauan yang dapat dilakukan adalah metode pasif menggunakan sampler pasif. Sampler pasif yang digunakan pada penelitian ini diproduksi oleh Gradko Company, Inggris. Untuk pengukuran di dalam negeri, koefisien difusi yang digunakan perlu dihitung ulang, dikoreksi dan disesuaikan dengan kondisi lingkungan di Indonesia terutama dari segi temperatur dan kelembaban yang cukup berbeda dengan luar negeri. Penelitian dilakukan dalam sebuah lingkungan terkontrol berbentuk reaktor tertutup, yang dilengkapi dengan pengatur temperatur, kelembaban, kecepatan angin, dan konsentrasi gas polutan. Sebelum digunakan, sampler perlu dibersihkan terlebih dahulu dari senyawa-senyawa pengganggu seperti SO₂, Nitrit, dan PAN (Peroxyacetyl Nitrate). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa rerata temperatur sebesar 26,14°C menghasilkan perubahan pada laju pengambilan tube sampler sebesar 3,167% dan konsentrasi NO₂ sebesar 131,2 µg/m³. Hasil konsentrasi ini memiliki akurasi sebesar 14,62 % jika dibandingkan dengan metode aktif manual. Data dengan akurasi kurang dari 25% terhadap metode acuan dapat dikatakan akurat, sehingga koefisien difusi yang digunakan dalam perhitungan tidak perlu dikoreksi. Secara keseluruhan, pengaruh temperatur terhadap performansi tube sampler di Indonesia tidak begitu signifikan karena Indonesia berada di zona tropis dan tidak mengalami temperatur ekstrim tinggi dan ekstrim rendah.

Kata kunci: Koefisien difusi, sampler pasif, temperatur.

Abstract: Nitrogen dioxide is an important gaseous air pollutant. The main source of nitrogen dioxide is vehicle emissions and combustion process in industries. NO₂ is a pollutant that causes acid rain and can cause chronic lung damages at high concentrations. To prevent this situation, it is necessary to monitor air quality for the concentrations of NO₂ in ambient air. The method for air quality monitoring that can be done is a passive method, using passive sampler. Passive sampler used in this study was produced by Gradko Company, England. For measurements in domestic area, the used diffusion coefficient needs to be recalculated, corrected and adjusted to environmental conditions in Indonesia, especially because of the differences of temperature and humidity between Indonesia and overseas. The study was conducted in a reactor with controlled environment, equipped with temperature, humidity, wind speed, and concentration of pollutant control. Before using, the samplers should be cleaned in advance of nuisance compounds like SO₂, Nitrite, and PAN (Peroxyacetyl Nitrate). Results from the study showed that the average temperature of 26,14 °C give changes for about 3,167 % in uptake rate and NO₂ concentration of 131,2µg/m³. This results has an accuracy of 14,62 % when compared with the manual active method. Data with an accuracy of less than 25% from the reference method can be said to be accurate, so that the diffusion coefficient used in the calculation does not need to be corrected. Overall, the effects of temperature on the performance of tube sampler in Indonesia are insignificant, probably because Indonesia located at tropics zone and do not experience extreme low and extreme high temperature.

Key words: Diffusion coefficient, passive sampler, temperature.

PENDAHULUAN

Nitrogen dioksida merupakan gas polutan yang cukup penting. Sumber utama nitrogen dioksida adalah emisi kendaraan bermotor dan proses pembakaran di industri. NO₂ memainkan peran penting dalam pembentukan polutan sekunder di troposfer, seperti ozon dan *peroxyacyl nitrate* (PAN) dan merupakan salah satu polutan yang menyebabkan hujan asam. Tidak hanya itu, NO₂ juga dapat menimbulkan gangguan terhadap pernapasan manusia dan menyebabkan kerusakan paru-paru kronis pada konsentrasi yang tinggi. Untuk mengantisipasi hal tersebut, diperlukan adanya pemantauan kualitas udara terhadap konsentrasi NO₂ di udara ambien.

Umumnya pemantauan NO₂ dilakukan dengan menggunakan metode aktif, yang merupakan metode konvensional dan lebih sering digunakan sebagai metode pemantauan kualitas udara. Tetapi, salah satu kekurangan metode ini adalah pengoperasiannya yang memerlukan biaya operasional yang tinggi dan pasokan listrik yang cukup untuk kebutuhan pompa penghisap. Sebagai alternatif, Palmes (1976) mengembangkan metode pasif yang lebih sederhana dan mudah digunakan dengan biaya operasional yang tidak mahal.

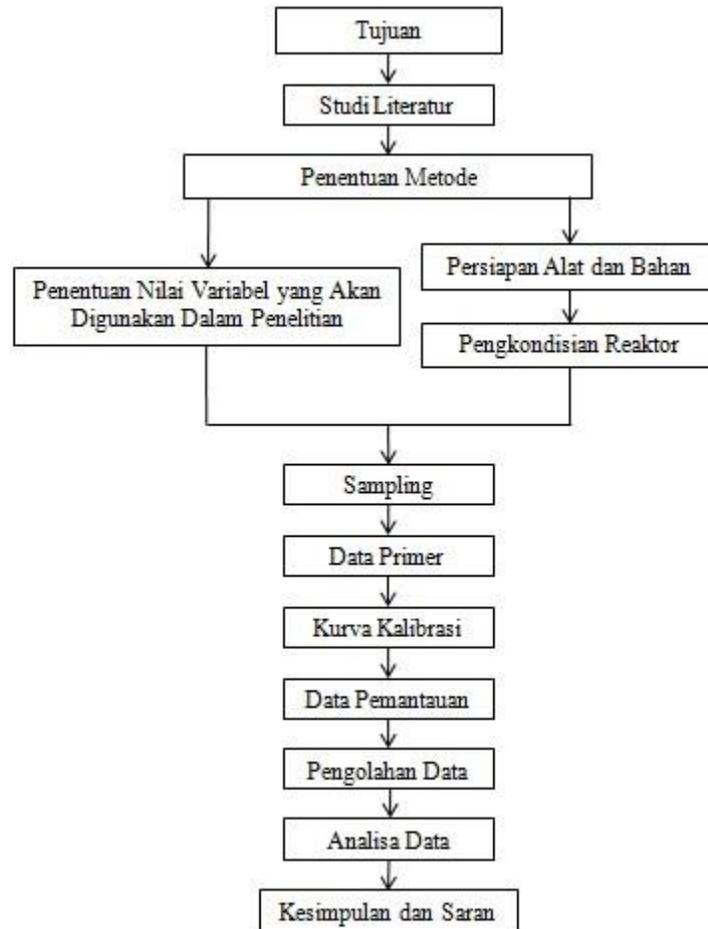
Metode pasif menggunakan *diffusive sampler* dimana transfer massa dari udara ambien menuju larutan penyerap di dalam *sampler* dilakukan melalui proses difusi. Massa dari substansi yang berdifusi pada interval waktu tertentu dipengaruhi oleh parameter geometri seperti keterkaitan antara panjang dari area difusi dan gradien konsentrasi serta difusi *cross-section*. Maka dari itu, laju pengambilan *sampler* pasif akan sangat dipengaruhi oleh nilai koefisien difusi (D) substansi dan geometri *sampler* yang digunakan.

Dalam penggunaan metode pasif, yang harus diperhatikan adalah *sampler* pasif yang akan digunakan sebagai media penangkap gas polutan. Umumnya *sampler* pasif yang digunakan pada metode pasif diproduksi di luar negeri. Untuk setiap parameter yang diukur, koefisien difusi yang diberikan adalah koefisien difusi awal yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan di luar negeri. Agar dapat digunakan di Indonesia, koefisien difusi ini perlu dihitung ulang, dikoreksi dan disesuaikan dengan kondisi lingkungan di Indonesia, terutama dengan kondisi meteorologi Indonesia yang cukup berbeda dengan luar negeri dilihat dari segi temperatur dan kelembaban.

Penelitian ini dilakukan dalam sebuah lingkungan terkontrol berbentuk reaktor yang dilengkapi dengan pengatur temperatur, kelembaban, dan konsentrasi gas polutan. *Sampler* pasif dipaparkan terhadap gas polutan selama interval waktu tertentu untuk kemudian dilakukan analisis perhitungan konsentrasi. Konsentrasi gas polutan yang terukur melalui metode pasif kemudian akan dibandingkan dengan konsentrasi gas polutan yang terukur oleh metode aktif manual. Perbedaan antara kedua konsentrasi tersebut kemudian dapat digunakan dalam perhitungan koreksi koefisien difusi. Selain itu, juga dilakukan analisis tentang pengaruh temperatur terhadap kemampuan difusi *sampler* pasif.

METODOLOGI

Metode pemantauan NO₂ yang akan digunakan adalah metode pasif menggunakan *sampler* pasif tipe *tube* jenis *Palmes*. Untuk melakukan keseluruhan metode tersebut, diperlukan studi literatur untuk mengetahui prinsip pengukuran NO₂ menggunakan metode pasif, metode analisis yang digunakan untuk mengukur konsentrasi NO₂ yang tertangkap, dan mempelajari pengaruh temperatur terhadap kemampuan difusi *sampler* pasif yang digunakan. Tahapan kegiatan yang akan dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Metodologi penelitian

Penentuan Nilai Variabel

Konsentrasi NO₂

Konsentrasi NO₂ yang dialirkan ke dalam reaktor telah diatur besarnya dan divalidasi menggunakan metode aktif manual. Nilai konsentrasi NO₂ dari hasil pengukuran akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya dalam menentukan koreksi koefisien difusi NO₂.

Temperatur dan Kelembaban Relatif

Penelitian ini menggunakan satu variasi temperatur dan satu variasi kelembaban relatif yang disesuaikan dengan kondisi daerah Thamrin dan Cendrawasih, Jakarta. Variasi digunakan dalam bentuk rentang untuk memudahkan pengondisian di dalam reaktor. Rentang temperatur yang akan digunakan adalah 26 – 27 °C yang menggambarkan temperatur minimum dan 60 – 70% yang menggambarkan kelembaban relatif rata-rata selama 12 jam (06.00 – 18.00 WIB).

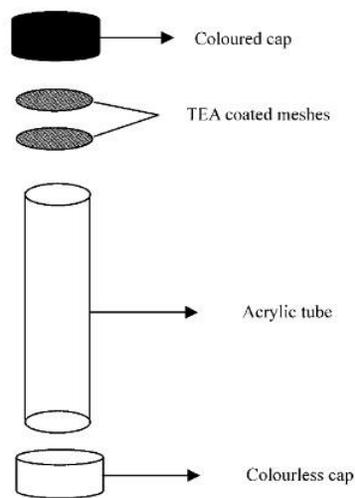
Waktu Pajanan

Waktu pajanan dalam reaktor dihitung dengan menggunakan persamaan pada kurva kalibrasi NO₂. Kurva kalibrasi ini menggambarkan luas area bacaan nitrit dengan jumlah nitrit yang terkandung dalam sampel. Berdasarkan hukum difusi pertama Fick₃, didapat bahwa waktu pajanan minimum untuk konsentrasi nitrogen dioksida sebesar 150 µg/m³ adalah ± 200 menit. Konsentrasi yang lebih tinggi akan memerlukan waktu pajanan yang lebih singkat, begitu pula sebaliknya.

Penelitian ini menggunakan dua variasi waktu pajanan, yaitu empat jam dan delapan jam. Hal tersebut dilakukan untuk membandingkan konsentrasi yang tertangkap oleh *tube sampler* jika waktu pajanan diperpanjang dari waktu seharusnya.

Tahap Preparasi, Impregnasi, dan Penyimpanan

Sampler pasif yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *sampler* pasif tipe *tube* jenis *Palmes* (**Gambar 2**) yang diproduksi oleh *Gradko International Company*, Inggris. Bahan *tube* yang digunakan adalah akrilik dengan panjang 71 mm dan diameter internal 11 mm. Pada bagian atas dan bawah *tube* digunakan tutup berbahan *polyethylene* yang bersifat inert terhadap reaksi. Di dalam *sampler* pasif terdapat dua buah *stainless steel mesh* dengan diameter 12 mm dan pori-pori berukuran $4 \times 4 \text{ mm}^2$.



Gambar 2. *Tube sampler* (Varshney and Singh, 2003)

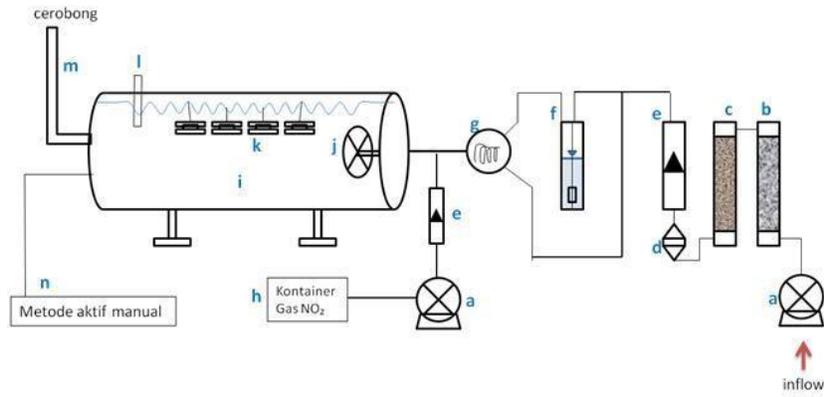
Sebelum *sampler* pasif digunakan dalam penelitian, *sampler* perlu dibersihkan terlebih dahulu dari senyawa-senyawa pengganggu seperti SO_2 , Nitrit, dan PAN (*Peroxyacetyl Nitrate*). Tahap awal yang dilakukan adalah preparasi. Pada preparasi, *sampler* direndam dalam deterjen bebas asam dan dicuci dengan *ultrasonic bath*. Setelah itu, *sampler* dibilas dengan larutan HCl dan akuades sebanyak dua kali untuk menghilangkan kandungan lemak.

Tahapan selanjutnya adalah impregnasi. Pada tahap ini, larutan penyerap yang digunakan untuk pengukuran NO_2 adalah larutan 50% V/V *Triethanolamine* (TEA) dalam *acetone*. Pada cap diletakkan dua buah *mesh* lalu dilakukan impregnasi larutan penyerap dengan *micropipet* sebanyak 50 μl .

Penyimpanan *sampler* dapat dilakukan pada suhu ruangan selama 39 hari (Cape, 2005). Namun, keadaan sampel akan lebih optimal apabila penyimpanan dilakukan di lemari pendingin pada suhu 3-5 $^{\circ}\text{C}$. Selama penyimpanan sampel di lemari pendingin, sampel dimasukkan ke dalam dua plastik yang ditutup rapat dan disimpan di tempat yang gelap.

Persiapan Reaktor

Penelitian ini berskala laboratorium, dimana penentuan kemampuan difusi *tube sampler* untuk pengukuran NO_2 dilakukan pada sebuah lingkungan tertutup berbentuk reaktor yang dapat dikontrol keadaannya. Reaktor yang digunakan terbuat dari bahan plexiglas dengan ketebalan 4mm untuk mencegah terjadinya reaksi oksidasi pada dinding reaktor oleh nitrogen dioksida. Rangkaian reaktor yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 3**.



a-pompa; b-kolom silika gel ; c-kolom karbon aktif; d-penyangga filter; e-flowmeter; f-diffuser berisi air; g-heater; h-kontainer gas NO₂; i-exposure chamber; j-kipas; k-passive sampler; l-termohigrometer; m-cerobong ; n-NOx Analyzer

Gambar 3. Skema reaktor

Tiap komponen pada rangkaian reaktor memiliki fungsi masing-masing yang dapat membantu dalam pengaturan variabel yang akan digunakan pada saat pengukuran. Komponen yang paling utama dalam pengaturan variasi temperatur dan kelembaban adalah *heater* dan *diffuser* berisi air.

Analisa

Sampel yang telah dipasang di reaktor akan dianalisis dengan metode *Griess Saltzman* dengan menghitung jumlah NO₂ sebagai nitrit dalam air. Larutan yang diperlukan saat analisis adalah larutan Saltzman, terbuat dari 50% v/v larutan sulfanilamide dan 10% v/v larutan NEDA. Larutan sulfanilamide dibuat dengan *sulfanilamide* 2% w/v dan 5% v/v larutan *orthophosphate*. Larutan NEDA dibuat dengan 0,14% w/v N-1 *Naphtyl ethylene diamine dichloride*.

Perhitungan konsentrasi NO₂ dapat dilakukan menggunakan **Persamaan 1:**

$$\text{—————} \quad (1)$$

Dimana:

- C : Konsentrasi terukur oleh *sampler* pasif ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Q : Kuantitas absorbansi yang terkandung dalam sampel (μg)
- d : Panjang *tube* (m)
- t : Lama waktu paparan (detik) A
- : Luas penampang *tube* (m^2) D :
- Koefisien difusi (m^2/s)

Untuk menghitung nilai D sesuai dengan temperatur pada saat pengukuran, maka nilai D harus dikoreksi menggunakan **Persamaan 2** (Massman, 1998):

$$\text{—————} \quad (2)$$

Dimana:

- DT : Nilai koefisien difusi terkoreksi
- D₂₉₄ : Nilai D pada suhu 294 K
- T : Temperatur aktual (K)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemaparan *Sampler* Pasif Terhadap Parameter NO₂ Di Dalam Reaktor

Pemaparan *sampler* pasif terhadap parameter NO₂ dilakukan di dalam reaktor selama 240 dan 480 menit. Pengondisian reaktor terhadap temperatur dan kelembaban dilakukan selama 30 menit dengan menggunakan *diffuser* sebagai pengatur kelembaban dan penangas air sebagai pengatur temperature. Sebelum *tube sampler* dimasukkan ke reaktor, dilakukan pengondisian kestabilan kadar NO₂ di dalam reaktor menggunakan hasil pengukuran dengan metode aktif manual.

Untuk menjaga agar nilai konsentrasi, suhu dan kelembaban di dalam reaktor tetap pada rentang yang diinginkan, maka pembacaan nilai ketiga variasi tersebut dilakukan tiap 30 menit. **Tabel 1** menunjukkan data hasil pembacaan ketiga parameter tiap 30 menit:

Tabel 1. Data pembacaan konsentrasi NO₂, suhu, dan kelembaban dalam reaktor

menit ke-	NO ₂ dengan metode aktif manual							
	A	Volume	Koreksi Volume	µl NO ₂	C (ppm)			
0	0,374	3	2,8195	0,2274	0,0806	151,7311	26,6	58
30	0,746	6	5,7471	0,4536	0,0789	148,4809	26,1	57
60	0,678	6	5,7252	0,4122	0,0720	135,4635	26,2	56
90	0,619	6	5,7692	0,3764	0,0652	122,7313	26	56
120	0,868	6	5,7252	0,5277	0,0922	173,4252	26,2	77
150	0,801	6	5,7034	0,4870	0,0854	160,6496	26,3	84
180	0,991	6	5,7915	0,6025	0,1040	195,7333	25,9	73
210	0,684	6	5,7252	0,4159	0,0726	136,6623	26,2	68
240	0,804	6	5,8140	0,4888	0,0841	158,1856	25,8	69
270	0,803	6	5,8140	0,4882	0,0840	157,9889	25,8	69
300	0,787	6	5,8140	0,4785	0,0823	154,8409	25,8	70
330	0,787	6	5,7471	0,4785	0,0833	156,6414	26,1	68
360	0,71	6	5,8140	0,4317	0,0742	139,6913	25,8	69
390	0,61	6	5,8140	0,3709	0,0638	120,0165	25,8	67
420	0,67	6	5,8140	0,4074	0,0701	131,8214	25,8	67
450	0,639	6	5,8140	0,3885	0,0668	125,7222	25,8	66
480	0,643	6	5,8140	0,3909	0,0672	126,5092	25,8	65
rata-rata (4 jam)					0,0817	153,6736	26,1444	66,4444
rata-rata (8 jam)					0,0780	146,8408	26	67

Jumlah *tube sampler* yang digunakan pada tiap variasi adalah sembilan *sampler*, yang terdiri dari tiga blanko laboratorium, tiga blanko reaktor, dan tiga sampel. Blanko laboratorium digunakan sebagai indikator tingkat ketelitian dan kebersihan pada tahap preparasi tiap komponen *sampler*, sedangkan blanko reaktor digunakan untuk melihat pengaruh meteorologis di lapangan terhadap sampel dan memeriksa adanya indikasi kebocoran pada *sampler*. Untuk setiap pengukuran, sampel dibuat secara triplikat untuk meningkatkan keakuratan hasil data pengukuran.

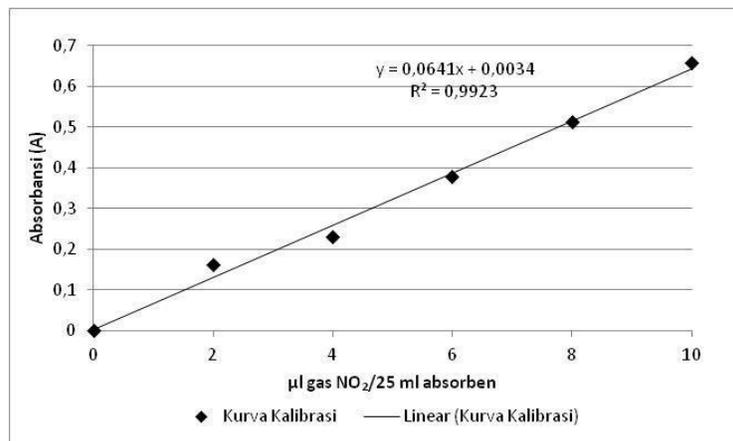
Untuk waktu pajanan empat jam, temperatur rata-rata yang dihasilkan adalah 26,14°C, sedangkan untuk waktu pajanan delapan jam, temperatur dan kelembaban rata-rata yang dihasilkan adalah sebesar 26°C. Rata-rata untuk variasi temperatur berhasil dicapai karena tetap berada pada rentang 26 – 27 °C. Sedangkan bagi kelembaban, pada waktu pajanan empat jam dihasilkan kelembaban relatif rata-rata

sebesar 66,44% dan untuk delapan jam dihasilkan kelembaban relatif rata-rata sebesar 67%. Rata-rata untuk variasi kelembaban relatif berhasil dicapai karena tetap berada pada rentang 60 – 70%.

Kurva Kalibrasi NO₂

Untuk menentukan konsentrasi NO₂ pada sampel yang akan dianalisa diperlukan kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi dibuat dengan mengukur nilai absorbansi dari beberapa variasi konsentrasi NO₂ dalam larutan standar. Variasi larutan standar yang digunakan adalah 0 ml, 0,2 ml, 0,4 ml, 0,6 ml, 0,8 ml, dan 1 ml. Nilai 1 ml NO₂ pada air setara dengan 10 µl NO₂ pada udara. Kemudian, ke dalam tiap labu ukur ditambahkan larutan Saltzman hingga mencapai volume 25 ml. Variasi volume NO₂ yang diperlukan untuk membuat kurva kalibrasi adalah 0 µl, 2µl, 4µl, 6 µl, 8 µl, dan 10 µl. Setelah itu, larutan disimpan selama 30 menit di ruangan gelap untuk menstabilkan warna larutan sebelum diukur di spektrofotometer.

Warna yang terbentuk pada setiap labu ukur kemudian diperiksa menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang λ 540 nm. Nilai absorbansi yang didapatkan kemudian diplot pada grafik antara absorbansi dan konsentrasi (**Gambar 4**).



Gambar 4. Kurva kalibrasi NO₂ dengan metode spektrofotometer

Nilai R^2 pada kurva kalibrasi yang ditunjukkan oleh **Gambar 4** mengindikasikan bahwa sebesar 99,23% absorbansi memberikan pengaruh terhadap µl NO₂ di udara. Nilai R^2 tersebut tergolong sangat baik (hampir mendekati 100%) sehingga kurva dapat digunakan untuk perhitungan konsentrasi NO₂ di udara.

Untuk setiap analisis sampel, kurva kalibrasi yang digunakan akan selalu berbeda, karena larutan Saltzman yang digunakan pada tiap analisis pun berbeda-beda. Larutan Griess Saltzman hanya dapat dibuat dan digunakan dalam kurun waktu 24 jam, karena apabila dibiarkan terlalu lama akan memungkinkan terjadinya kontaminasi.

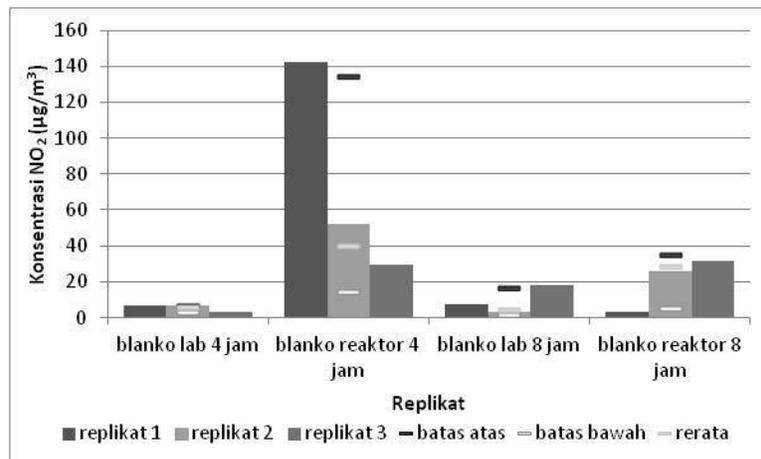
Perhitungan Konsentrasi NO₂

Pengukuran NO₂ dengan menggunakan *tube sampler* di dalam reaktor dilakukan secara triplikasi sehingga terdapat tiga data untuk tiap pengukuran. Untuk keseluruhan data, hasil yang akan digunakan adalah hasil yang terdapat di antara batas atas dan batas bawah. Nilai ini didapatkan dari penjumlahan dan pengurangan standar deviasi terhadap reratanya. Hasil pengukuran yang memenuhi syarat sebagai data yang presisi dan dapat digunakan dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut:

Tabel 2. Hasil Pengukuran Konsentrasi NO₂

	Blanko Laboratorium		Blanko Reaktor		Sampel	
	4 jam	8 jam	4 jam	8 jam	4 jam	8 jam
R1	6,486	7,644	142,518	3,398	131,2	60,02
R2	6,486	3,011	52,030	26,049	131,2	54,364
R3	3,011	18,067	29,408	31,712	29,4	48,7
Batas Atas	7,333	17,285	134,504	35,369	156,0409	60,02
Batas Bawah	3,321	1,863	14,800	5,404	38,492	48,7
Rerata	6,486	5,327	40,719	28,881	97,267	54,364
Data yang Digunakan	R1 dan R2	R1 dan R2	R2 dan R3	R2 dan R3	R1 dan R2	R1 dan R2

Gambar 5 merupakan data konsentrasi NO₂ pada blanko laboratorium dan blanko reaktor pada waktu pajanan empat dan delapan jam dalam bentuk grafik:



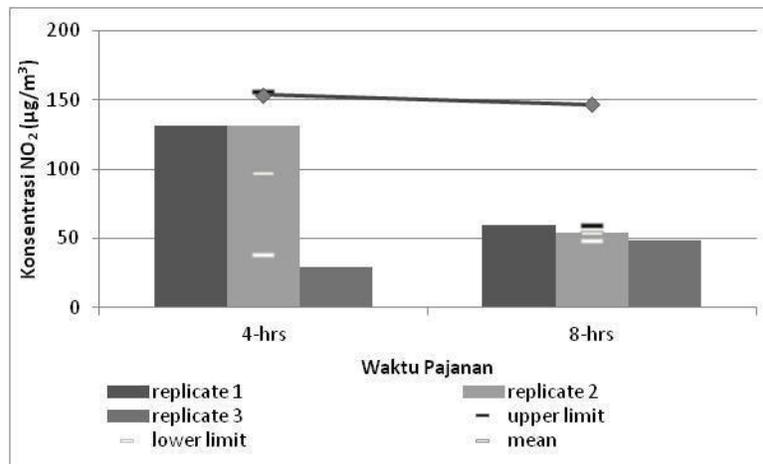
Gambar 5. Konsentrasi NO₂ pada blanko laboratorium dan blanko reaktor

Untuk blanko laboratorium delapan jam, terjadi anomali data pada replikasi ketiga yang menghasilkan konsentrasi NO₂ cukup tinggi dengan hasil sebesar 18,067 µg/m³. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kurangnya ketelitian pada saat melakukan impregnasi. Seharusnya setiap kegiatan pada tahap impregnasi dilakukan di ruangan yang tertutup, sehingga memperkecil kemungkinan adanya kontaminasi dari udara ambien pada saat melakukan impregnasi.

Pada tiap replikasi *tube sampler*, dapat dilihat bahwa konsentrasi NO₂ yang terukur di blanko reaktor lebih tinggi daripada konsentrasi NO₂ yang terukur pada blanko laboratorium. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya pengaruh dari variabel meteorologi seperti temperatur

dan kelembaban relatif terhadap blanko. Pengaruh dari kondisi meteorologi tersebut menyebabkan adanya kebocoran pada *tube sampler* sehingga konsentrasi NO₂ yang terukur cukup tinggi.

Pada perhitungan konsentrasi NO₂ yang terukur di sampel, untuk memperoleh hasil konsentrasi maka jumlah μl nitrit pada sampel dikurangi dengan jumlah μl nitrit pada blanko laboratorium. Hasil pengukuran konsentrasi NO₂ dengan *tube sampler* menunjukkan bahwa masih terdapat data yang tidak masuk ke dalam rentang batas atas dan batas bawah. Maka dari itu, untuk menghasilkan data dengan akurasi yang tinggi jika dibandingkan dengan metode aktif manual, maka data yang digunakan hanyalah data yang berada dalam rentang kedua daerah tersebut. Untuk pengukuran selama empat jam, rerata konsentrasi NO₂ yang tertangkap oleh *tube sampler* adalah 169,664 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan untuk pengukuran selama delapan jam menghasilkan rerata konsentrasi NO₂ sebesar 73,61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi NO₂ yang akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya adalah konsentrasi NO₂ yang memiliki nilai mendekati hasil pengukuran manual, yaitu pengukuran selama empat jam. Hasil pengukuran konsentrasi NO₂ yang dilakukan di reaktor selama empat jam dan delapan jam dapat dilihat pada **Gambar 6** berikut:



Gambar 6. Konsentrasi NO₂ dengan pengukuran metode pasif menggunakan *tube sampler*

Koreksi Koefisien Difusi

Berdasarkan **Gambar 6**, dapat dilihat bahwa konsentrasi NO₂ yang terukur di *tube sampler* dengan waktu paparan empat jam lebih besar daripada konsentrasi NO₂ yang terukur di *tube sampler* dengan waktu paparan delapan jam. Persentase selisih pengukuran konsentrasi NO₂ selama empat jam memiliki akurasi sebesar 14,62% terhadap metode aktif manual, dan pengukuran konsentrasi NO₂ selama delapan jam memiliki akurasi sebesar 62,98% terhadap metode aktif manual. Persentase selisih ini diperoleh dengan membagi nilai perbedaan hasil pengukuran konsentrasi dengan hasil pengukuran konsentrasi dengan metode aktif manual.

Untuk pengukuran selama empat jam, konsentrasi NO₂ yang terukur telah sesuai dengan kategori hasil yang akurat menurut Cape (2005) dan Hafkenscheid (2009), yang menyatakan bahwa pengukuran dengan metode pasif dapat dikatakan akurat apabila selisihnya kurang dari 25% terhadap metode acuan. Maka dari itu, koefisien difusi yang digunakan dalam perhitungan tidak perlu dikoreksi.

Pengaruh Temperatur Terhadap Difusivitas *Sampler* Pasif

Temperatur memiliki pengaruh terhadap koefisien difusi dan jumlah material yang diadsorpsi. Menurut Henschler (1991), terdapat perbandingan lurus antara kenaikan temperatur terhadap koefisien difusi. Semakin tinggi temperatur pada saat paparan, maka semakin tinggi pula nilai koefisien difusi substansi NO₂ di udara, yang mengakibatkan meningkatnya nilai laju pengambilan (*uptake rate*) *tube sampler*. Pada penelitian ini, rata-rata temperatur yang dihasilkan adalah 26 °C, menyebabkan nilai koefisien difusi NO₂ lebih besar dari nilai koefisien difusi pada 21 °C.

Berdasarkan hasil pengukuran selama empat jam, dapat disimpulkan bahwa temperatur tidak mempengaruhi kemampuan difusi *sampler* pasif terhadap gas polutan NO₂. Perubahan temperatur menyebabkan adanya perubahan pada koefisien difusi, yang lebih lanjut menyebabkan perubahan pada laju pengambilan sebesar 3,167%. Kecenderungan pada perubahan koefisien difusi yang disebabkan oleh temperatur hanya memiliki pengaruh kecil dan belum dapat diperkirakan kecuali pada daerah-daerah temperatur sangat rendah (Cape, 2005). Pada temperatur sangat rendah, terdapat kemungkinan adanya pengaruh yang signifikan terhadap performansi *tube sampler*, karena TEA yang digunakan sebagai larutan penyerap membeku pada 21 °C. Larutan yang membeku dapat menyebabkan TEA tidak dapat menyerap NO₂ dengan baik. Tetapi, karena lingkup studi yang dilakukan pada penelitian ini adalah temperatur di wilayah Indonesia khususnya Jakarta, maka hal ini bukanlah hal yang perlu dikhawatirkan karena Jakarta berada di zona iklim tropis dan tidak pernah mengalami suhu yang sangat rendah. Selain itu, terdapat kemungkinan bahwa jumlah data pada penelitian ini kurang dapat merepresentasikan hubungannya terhadap perubahan temperatur.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi NO₂ yang terukur pada *tube sampler* dengan waktu pajanan selama 4 jam adalah 131,2 µg/m³. Persentase selisih pengukuran konsentrasi NO₂ selama empat jam memiliki akurasi sebesar 14,62 % terhadap metode aktif manual dan telah termasuk dalam kategori akurat. Maka dari itu, koefisien difusi yang digunakan dalam perhitungan konsentrasi NO₂ tidak perlu dikoreksi.

Secara keseluruhan pengaruh temperatur di Indonesia terhadap kemampuan difusi *tube sampler* tidak begitu signifikan dan mengubah data konsentrasi secara drastis, karena temperatur di Indonesia tidak berada dalam keadaan ekstrim tinggi dan rendah yang terbukti memiliki pengaruh besar terhadap performansi *tube sampler*. Temperatur 26 – 27 °C yang digunakan dalam penelitian hanya mengubah laju pengambilan *tube sampler* sebesar 3,167% dan data yang dihasilkan dalam perhitungan tetap tergolong akurat.

Penelitian ini perlu dilanjutkan untuk melihat performansi *tube sampler* jika dipaparkan pada rentang temperatur rata-rata, 29 – 30 °C dan rentang temperatur rata-rata kota Bandung, 25 – 26 °C. Hasil pengukuran pada ketiga variasi ini dapat dibandingkan dan akhirnya didapatkan analisa yang tepat tentang pengaruh temperatur di Indonesia terhadap penggunaan *tube sampler* untuk pengukuran NO₂.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Dana Mandiri ITB yang telah mendukung Proyek “Evaluasi Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Performansi *Passive Sampler* Untuk Pengukuran Ozon dan NO₂ di dalam Reaktor Terkontrol”.

DAFTAR PUSTAKA

- Bird, C. et al. (2008). Diffusion Tubes for Ambient NO₂ Monitoring: Practical Guidance. Defra Report. AEA Energy and Environment from the AEA Group.
- Brown, R. H. (1993). The Use of Diffusive Samplers for Monitoring of Ambient Air. *Pure & Applied Chemical*, Vol. 65, No. 8: 1859-1874.
- Cape, J. N. (2005). Review of the use of passive diffusion tubes for measuring concentrations of nitrogen dioxide in air. Centre for Ecology and Hydrology: United Kingdom.
- Cruz, L. Campos, V. Novaes, J. Tavares, T. (2005). Laboratory Validation of a Passive Sampler For SO₂ Atmospheric Monitoring. *The Journal of the Brazilian Chemical Society*, Vol. 16, No. 1: 50-57.
- Gerboles, M., Buzica, D., Amantini, L. (2005). Modification of the Palmes diffusion tube and semi-empirical modelling of the uptake rate for monitoring nitrogen dioxide. *Atmospheric Environment*, 39: 2579-2592.
- Hafkenscheid, T., Fromage-Mariette, A., Goelen, E., Hangartner, M., Pfeffer, U., Plaisance, H., de Santis, F., Saunders, K., Swaans, W., Tang, Y. S., Targa, J., van Hoek C., and Gerboles, M. (2009). *Review of the application of diffusive samplers in the European Union for the monitoring of nitrogen dioxide in ambient air*. Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg.
- Henschler, D., Kettrup, A. (1991). *Analyses of Hazardous Substances in Air Volume 1*. VCH Publisher Inc: New York.
- Lestari, K. M. (2011). Evaluasi Presisi dan Akurasi Passive Diffusion Tube Untuk Pengukuran NO₂. Laporan Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
- Keith, Lawrence. (1984). *Identification and Analysis of Organic Pollutants in Air*. Butterworth Publishers: USA.
- Massman, W. J. (1998). A review of the molecular diffusivities of H₂O, CO₂, CH₄, CO, O₃, SO₂, NH₃, N₂O, NO, and NO₂ in air, O₂ and N₂ near STP. *Atmospheric Environment*, 32: 1111-1127.
- Palmes, E. D., Gunnison, A. F., DiMattio, J. and Tomcaryk, C. (1976). Personal Sampler for Nitrogen Dioxide. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 37: 570-577.
- Tang, Y. S., Cape, J. N., Sutton, M. A. (2001). Development and Types of Passive Sampler for Monitoring Atmospheric NO₂ and NH₃ Concentrations. *Proceedings of the International Symposium on Passive Sampling of Gaseous Air Pollutants in Ecological Effects Research*, Riverside, California, USA. *The Scientific World*, 1: 513-529.
- Van Reeuwijk, H., Fischer, P. H., Harssema, H., Briggs, D. J., Smallbone, K., Lebret, E. (1998). Field Comparison of Two NO₂ Passive Samplers To Assess Spatial Variation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 50: 37-51.
- Varshney, C. K., and Singh, A. P. (2003). Passive Samplers for NO_x Monitoring: A Critical Review. *The Environmentalist*, 23: 127-136.