

## Analisis Tingkat Risiko Paparan NO<sub>x</sub> terhadap Pekerja di Gardu Tol Akibat Volume Kendaraan di Pintu Tol Jagorawi, Bogor

*(Analysis of NO<sub>x</sub> Risk Level Exposures to the Highways Workers Due To Vehicles Volume at Jagorawi Highways Gate, Bogor)*

Astri Salatin<sup>1</sup>, Chusnul Arif<sup>\*</sup>, dan Namira Dita Rachmawati<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, PO BOX 220, Bogor, Jawa Barat Indonesia

\* Penulis korespondensi: chusnul\_arif@apps.ipb.ac.id

Diterima: 15 Oktober 2018

Disetujui: 22 Maret 2019

### ABSTRACT

*Bogor as tourist destination at weekend bear quite high vehicles volume. The purpose of this research was to analyze correlation between vehicles volume at highways gate and NO<sub>x</sub> exposure from the vehicles and others sources surrounding the gate. The average concentration of NO<sub>x</sub> exposure level pollution can be used to identify the risk to the health of highway gate worker. Analysis of NO<sub>x</sub> used Griess Saltzman method referring to SNI 19-7119.2-2005 by some equipments including impinger. The result showed that type of vehicle produced the highest amount of NO<sub>x</sub> pollutant was vehicles with diesel engine, and the gate with highest NO<sub>x</sub> concentration was gate 08 with NO<sub>x</sub> concentration value 40.008 µg/m<sup>3</sup> on 09.00-10.00 am. Risk quotient (RQ) to the workers with weighed 65-90 kg and had been working for 25 years was 0.041950 and it was RQ < 1. It's means that the pollution caused by NO<sub>2</sub> at the highways gate did not affected on the workers. For the next research, it is recommended to identify the effects of O<sub>3</sub> and NO<sub>3</sub>, because those compounds are easily reacted with NO<sub>x</sub> in the air.*

*Keywords: diesel engine, highway, NO<sub>x</sub> concentration, risk analysis, vehicle.*

### PENDAHULUAN

Penurunan dan perubahan kualitas udara disebabkan oleh perubahan aktivitas manusia sehari-hari. Kondisi udara tergantung dari lingkungannya yang akan mempengaruhi kehidupan (Wardhana 2004). Pencemaran udara dikenal sebagai masalah lingkungan yang terasosiasi dengan wilayah perkotaan di seluruh dunia. Berbagai program pemantauan telah digunakan untuk menentukan kualitas udara dengan menggunakan sejumlah data dari setiap konsentrasi polutan (Wu dan Kuo 2013). Kepadatan dan kemacetan lalu lintas menyebabkan kendaraan tidak dapat beroperasi pada kecepatan optimum, sehingga udara dari gas buang kendaraan akan berkumpul dan menghasilkan emisi (Imansyah 2008). Oleh sebab itu, adanya

kemacetan di suatu kota dapat meningkatkan terjadinya pencemaran udara di kota tersebut.

Bogor sebagai kota wisata memiliki jumlah pengunjung dengan jumlah besar dari luar Bogor khususnya akhir pekan, sehingga volume kendaraan bermotor meningkat pesat. Beberapa tempat yang memiliki konsentrasi pencemaran udara yang cukup tinggi di Bogor adalah persimpangan jalan, jalan protokol, pintu masuk tol, dan kawasan industri (Pasha 2011). Obyek dalam penelitian ini adalah gerbang tol Bogor. Pada pintu masuk tol seringkali terdapat kemacetan kendaraan bermotor, yang diduga menghasilkan banyak gas pencemar. Volume lalu lintas yang padat di gerbang tol Bogor terjadi khususnya pada saat akhir pekan, dengan tingkat kemacetan

yang cukup besar. Hal ini menyebabkan konsentrasi polutan yang terdapat di pintu tol menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi polutan pada ruas jalan dalam keadaan normal (Hickman *et al.* 1999). Salah satu jenis polutan dari kendaraan bermotor dan memiliki dampak yang sangat berbahaya terhadap kesehatan adalah NOx.

Pada setiap pintu tol terdapat petugas pintu tol yang bekerja sesuai dengan *shift* kerjanya dalam jangka waktu tertentu secara rutin dan berkesinambungan. Hal ini menyebabkan petugas pintu tol terpapar oleh emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor yang mengantre, berhenti, dan kemudian melaju kembali pada pintu tol selama waktu kerjanya. Banyaknya emisi kendaraan bermotor yang dihasilkan pada ruas jalan biasa berbeda dengan emisi kendaraan bermotor yang dihasilkan pada ruas jalan tol. Hal ini dikarenakan ruas jalan biasa dan ruas jalan tol memiliki desain jalan serta kondisi lalu lintas yang berbeda (Aprianti 2011). Melalui penelitian ini diharapkan dapat diketahui hubungan antara volume kendaraan di pintu tol terhadap paparan NOx di area tersebut. Dengan mengetahui rata-rata konsentrasi NOx, dapat dianalisis berapa besar tingkat risiko pencemar terhadap kesehatan pekerja di gardu tol.

## METODOLOGI

Observasi data dilakukan pada bulan Maret hingga Mei 2017. Pengambilan data sekunder pada penelitian ini diperoleh dari PT. Jasa Marga, Tbk. Jalan tol yang ditetapkan sebagai model dalam penelitian ini adalah jalan Tol Jagorawi tepatnya di ruas Gerbang Tol Bogor pada empat gardu yaitu gardu nomor empat, delapan sepuluh dan sebelas. Pengukuran NOx menggunakan metode *Griess Saltzman* sesuai dengan SNI 19-

7119.2-2005. Alat utama yang digunakan adalah *impinge* yang diletakkan pada bagian belakang gardu transaksi dengan ketinggian  $\pm 1.5$  m.

Selain alat tersebut, juga terdapat beberapa peralatan yang digunakan seperti pompa vakum, *flowmeter*, gelas ukur 100 ml, pipet volumetrik, pipet ukur 1 ml, *ball pipet*, labu ukur 25 ml, spektrofotometer dilengkapi kuvet, termometer, larutan penyerap *Griess Saltzman*, larutan standar *sodium nitrite* (NaNO<sub>2</sub>), dan *aquades*.

### Pengambilan Sampel NOx

Sampel NOx ditempatkan pada botol *impinge* yang diisi dengan 10 ml larutan penyerap *Griess Saltzman*. Setelah itu, *impinger* pada *flowmeter* dihubungkan dan pompa vakum dengan kecepatan alir 0.4 l/menit. Selanjutnya, dipompa selama 1 jam, kemudian didiamkan 15 menit dan ukur absorbansi (A) pada panjang gelombang 550 ml. Pengambilan sampel kualitas udara NOx dilaksanakan selama 6 hari untuk satu titik dengan komposisi 2 hari kerja, 2 hari libur dan dari hari tersebut yang mewakili kondisi dengan 4 lokasi gardu. Dengan komposisi ini diharapkan perolehan data yang variatif. Pengambilan sampel dilakukan selama 7 jam terhitung pukul 06.00-13.00 WIB (satu *shift* kerja).

### Penentuan Konsentrasi NOx

Penentuan konsentrasi NOx diawali dengan pembuatan kurva kalibrasi. Pertama, larutan standar *sodium nitrite* dimasukan kedalam labu ukur 25 ml masing-masing sebanyak 0.0 ml, 0.1 ml, 0.2 ml, 0.4 ml, 0.8 ml, dan 1.0 ml. Selanjutnya, ditambahkan larutan penyerap sampai tanda tera lalu dikocok dengan baik dan dibiarkan selama 15 menit agar terjadi pembentukan warna yang sempurna. Setelah didiamkan 15 menit ukur absorbansi masing-masing larutan

standar dengan spektrofotometer. Nilai absorbansi dan jumlah NO<sub>2</sub> yang didapat dibuat kurva kalibrasinya.

**Uji Korelasi antara Total Volume Kendaraan dengan Konsentrasi NOx**

Untuk mengetahui hubungan antara keseluruhan volume kendaraan dengan konsentrasi NOx khususnya NO dan NO<sub>2</sub> di udara maka dilakukan dengan regresi linier. Pengolahan ini dilakukan dengan menjumlahkan seluruh jenis kendaraan yang terhitung dalam 1 jam dan mengaitkannya dengan konsentrasi NO dan NO<sub>2</sub> pada jam tersebut, sehingga nantinya akan ditemukan satu variabel X, yaitu jumlah kendaraan (SMP), sedangkan variabel Y terdiri dari NO dan NO<sub>2</sub>.

$$Y = a \pm bX \tag{1}$$

Keterangan:

- 2. = konsentrasi NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)
- X = jumlah kendaraan (SMP)
- a = intersept hasil korelasi linear
- b = gradient hasil korelasi linear

Untuk mengetahui hubungan antara keseluruhan volume kendaraan dengan konsentrasi NO dan NO<sub>2</sub> di udara dilakukan perhitungan menggunakan nilai korelasi (r) yang didapatkan pada persamaan (2), nilai r untuk menunjukkan kekuatan hubungan bersama-sama antara dua atau lebih variabel bebas terhadap variabel berikut dengan nilai korelasi sebagai berikut:

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n\sum x^2 - (\sum x)^2\} \{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}}} \tag{2}$$

Keterangan:

- 0 = tidak ada korelasi antara variable
- 0 – 0,25 = korelasi sangat lemah
- 0,25 - 0,5 = Korelasi cukup
- 0,5 – 0,75 = korelasi kuat
- 0,75-0,99 = korelasi sangat kuat

1 = korelasi sempurna

Koefisien determinasi berganda atau R<sup>2</sup> merupakan nilai yang penting dalam analisis regresi linier. Nilai R<sup>2</sup> dapat digunakan untuk mengukur kontribusi seluruh variabel bebas (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, ..., X<sub>n</sub>) dalam variabel terikat (Y).

**Uji Korelasi antara Jenis Mesin Kendaraan dengan Konsentrasi NOx**

Setiap jenis kendaraan akan mengemisikan jumlah polutan yang berbeda. Setiap jenis mesin didesain dengan perbedaan *air/fuel ratio* sesuai dengan peruntukan kendaraan. Jenis mesin terbagi 2, yaitu mesin bensin dan mesin diesel. Untuk melihat kontribusi dan besaran korelasi antara kedua jenis mesin pada kendaraan tersebut terhadap konsentrasi NO<sub>2</sub>, maka perlu dilakukan perhitungan regresi linier berganda (Radytia 2011).

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \tag{3}$$

Keterangan:

- Y = konsentrasi NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)
- b<sub>1</sub> = koefisien kendaraan dengan mesin bensin
- X<sub>1</sub> = kendaraan dengan mesin bensin (SMP)
- b<sub>2</sub> = koefisien kendaraan dengan mesin diesel
- X<sub>2</sub> = kendaraan dengan mesin diesel (SMP)

Untuk mengetahui hubungan antara jenis kendaraan dengan konsentrasi NO<sub>2</sub> dilakukan perhitungan menggunakan nilai korelasi berganda (r) yang didapatkan pada persamaan (3). Kemudian, nilai tersebut disesuaikan dengan interval nilai korelasi yang telah dijelaskan sebelumnya dan koefisien determinasi berganda atau R<sup>2</sup>.

**Analisis Risiko**

Analisis risiko digunakan untuk menilai atau menaksir risiko kesehatan manusia yang disebabkan oleh pajanan bahaya lingkungan. Karakteristik risiko kesehatan dinyatakan sebagai *risk quotient* (RQ, tingkat risiko) untuk efek-efek

nonkarsinogenik dan *excess cancer risk* (ECR) untuk efek-efek nonkarsinogenik (Basri 2014). NO<sub>2</sub> termasuk golongan nonkarsinogenik. RQ dihitung dengan membagi asupan nonkarsinogenik (*I<sub>nk</sub>*) setiap agen risiko dengan dosis referensinya (*R<sub>fD</sub>* atau *R<sub>fC</sub>*) (Djafri 2014). Dosis referensi dibedakan untuk pajanan oral (ingesi, makanan, dan minuman) yang disebut *R<sub>fD</sub>* dan untuk pajanan inhalasi (udara) yang disebut *R<sub>fC</sub>*. *R<sub>fD</sub>* dan *R<sub>fC</sub>* dinyatakan dalam milligram (mg) agen risiko per kilogram (kg) berat badan per hari (mg/kg/hari) pada persamaan berikut ini (Dirjen PP dan PL 2011).

$$RQ = \frac{I_{nk}}{R_{fc}} \quad (4)$$

Keterangan:

- RQ = *risk quotient*
- I<sub>nk</sub>* = asupan karsinogenik
- R<sub>fc</sub>* = dosis referensi pajanan inhalasi

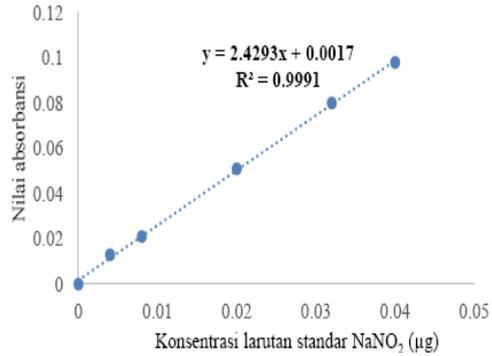
Baik *I<sub>nk</sub>* maupun *R<sub>fD</sub>* harus spesifik untuk bentuk spesi kimia agen risiko dan media lingkungan tertentu. Misalnya, *R<sub>fD</sub>* TEL (*tetraethyl lead*) hanya digunakan untuk menghitung RQ TEL, sedangkan RQ Pb total tidak bisa dihitung memakai *R<sub>fD</sub>* TEL karena nilai kedua *R<sub>fD</sub>* itu berbeda. Sedangkan nilai *R<sub>fC</sub>* untuk NO<sub>2</sub> adalah 0.02, risiko kesehatan dinyatakan ada dan perlu dikendalikan jika RQ > 1. Jika RQ ≤ 1, risiko tidak perlu dikendalikan tetapi segala kondisi perlu dipertahankan agar nilai numerik RQ tidak melebihi 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Konsentrasi NO<sub>x</sub>

Pembuatan kurva kalibrasi sebagai salah satu persiapan dalam pengujian sampel. Menurut SNI 19-7119.2-2005 kurva kalibrasi merupakan cara uji kadar nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dengan metode *Griezz Saltzman* menggunakan spektrofotometer yang menyatakan hubungan antara konsentrasi larutan

standar dengan hasil pembacaan serapan dan merupakan suatu garis lurus. Pembuatan kurva kalibrasi dalam penelitian ini dibuat sebanyak tiga kali dengan tujuan mendapatkan kurva yang sesuai.



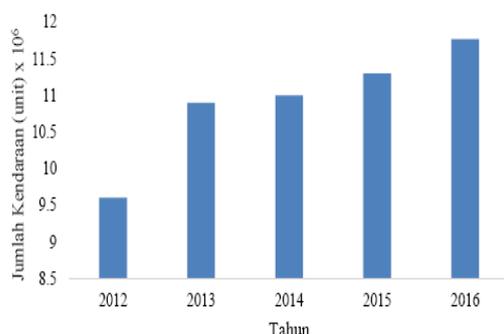
Gambar 1 Kurva Kalibrasi NO

Hasil pengolahan kurva kalibrasi data didapatkan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0.999 seperti pada Gambar 1. Nilai R<sup>2</sup> yang mendekati 1 tersebut dikategorikan sangat tepat karena melebihi ketetapan nilai R<sup>2</sup> minimal sebesar 0.998 sesuai yang tercantum pada SNI 19-7119.2-2005.

### Kondisi Volume Lalu Lintas Pintu Tol Jagorawi, Bogor

Gerbang tol Bogor merupakan salah satu bagian gerbang tol Jagorawi yang dikelola oleh PT. Jasa Marga, Tbk. Gerbang tol Bogor memiliki empat belas gardu tol yang terdiri dari delapan gardu sebagai loket tiket pembayaran manual arah Bogor, satu gardu *e-toll* arah Bogor dan lima gardu *e-toll* arah Jakarta. Berdasarkan data rekaman lalu lintas yang memasuki kota Bogor setiap tahunnya mencapai 9 hingga 11 juta unit dari gerbang tol Bogor. Sementara rata-rata jumlah kendaraan yang melewati satu gardu tol per satu jam adalah 237 unit. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa terjadi fluktuasi jumlah kendaraan bermotor yang memasuki kota Bogor selama periode 2012-2016. Volume kendaraan yang

memasuki kota Bogor melalui gerbang tol terus mengalami peningkatan walupun tidak secara signifikan.



Gambar 2 Jumlah kendaraan bermotor/ tahun pada gerbang tol Bogor

### Konsentrasi NO<sub>x</sub> di Pintu Tol Jagorawi, Bogor

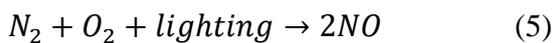
#### Analisis Harian Konsentrasi NO dan NO<sub>2</sub> di Pintu Tol Jagorawi, Bogor

Pada analisis harian ini akan dijelaskan mengenai jumlah konsentrasi dan fluktuasi NO dan NO<sub>2</sub> yang telah dilakukan, dengan mengambil konsentrasi tertinggi dan terendah NO<sub>x</sub> selama 16 hari pengukuran yang disajikan pada Tabel 1 yang melibatkan faktor transportasi, yaitu jumlah kendaraan dan juga faktor meteorologis. Rata-rata konsentrasi NO<sub>x</sub> tertinggi selama delapan jam pengukuran pada 16 hari tersebut terjadi pada hari Sabtu, 22 April 2017 di gardu 08, sebesar 30.071 µg/m<sup>3</sup> dengan kondisi cuaca cerah pada pagi hari. Sementara konsentrasi NO<sub>x</sub> terendah yaitu Rabu, 26 April 2017 sebesar 25.210 µg/m<sup>3</sup>.

Tabel 1 Rata-rata konsentrasi NO<sub>x</sub> dan total volume kendaraan 16 hari

Nomor Gardu	Hari, tanggal	Rata-rata konsentrasi NO <sub>x</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Rata-rata total volume kendaraan (SMP/jam)
4	Rabu, 12 April 2017	26.906	162.71
4	Kamis, 13 April 2017	25.773	164.50
4	Sabtu, 15 April 2017	25.776	197.56
4	Minggu, 16 April 2017	27.611	173.00
8	Rabu, 19 April 2017	26.009	166.25
8	Kamis, 20 April 2017	26.713	167.25
8	Sabtu, 22 April 2017	30.071	245.38
8	Minggu, 23 April 2017	27.185	237.94
10	Rabu, 26 April 2017	25.210	159.25
10	Kamis, 27 April 2017	25.579	169.06
10	Sabtu, 29 April 2017	25.698	203.00
10	Minggu, 30 April 2017	26.397	183.83
11	Rabu, 23 Mei 2017	26.978	170.07
11	Kamis, 24 Mei 2017	25.910	174.25
11	Sabtu, 06 Mei 2017	27.906	218.00
11	Minggu, 07 Mei 2017	27.074	216.92

Konsentrasi NO<sub>2</sub> tertinggi pada Sabtu, 22 April 2017 di gardu 08 terjadi adalah jam 09.00-10.00 WIB yaitu sebesar 27.618 µg/m<sup>3</sup> dengan suhu sebesar 34.8°C. Sementara, konsentrasi NO tertinggi terjadi pada jam 10.00-11.00 WIB sebesar 15.276 µg/m<sup>3</sup> dengan kondisi awan terlihat mendung, angin kencang dan kilatan cahaya petir di udara yang kemudian diikuti oleh turunnya hujan. Tingginya nilai konsentrasi NO pada jam tersebut dibandingkan dengan waktu pengukuran lainnya diakibatkan oleh reaksi atmosfer yaitu terjadinya pembentukan NO secara alami akibat adanya petir (Hill *et al.* 1979). Selain itu, dapat pula terjadi karena adanya perubahan unsur nitrogen di udara menjadi senyawa kimia. Perubahan ini dapat menyebabkan oksigen dan nitrogen yang terdapat di udara bereaksi dan membentuk nitrogen oksida (Maheshwari *et al.* 2011).



Hal-hal tersebutlah yang menyebabkan tingkat konsentrasi NO memiliki nilai yang tinggi pada saat mendung terutama saat terjadinya petir (Hill *et al.* 1979). Pada Sabtu, 22 April 2017 di gardu 08, fluktuasi suhu yang memengaruhi konsentrasi NO<sub>x</sub> di udara dengan konsentrasi NO<sub>x</sub> tertinggi terjadi pada jam 09.00-10.00 WIB sebesar 40.008 µg/m<sup>3</sup> dengan suhu sebesar 34.8°C. Sementara itu rata-rata nilai konsentrasi NO<sub>x</sub> terendah yaitu pada hari Rabu, 26 April 2017 di gardu 10, sebesar 25.209 µg/m<sup>3</sup> dengan fluktuasi NO dan NO<sub>2</sub> yang berubah setiap jamnya dan dipengaruhi oleh faktor meteorologis serta transportasi. Nilai konsentrasi NO dan NO<sub>2</sub> mencapai titik maksimum pada jam 12.00-13.00 WIB sebesar 12.258 µg/m<sup>3</sup> dan 23.962 µg/m<sup>3</sup>.

### Analisis Konsentrasi NO<sub>x</sub> dengan Volume Kendaraan

Volume kendaraan sangat tinggi terjadi pada jam 07.00-08.00 WIB yaitu sebesar 214 SMP dengan konsentrasi NO<sub>x</sub> sebesar 19.909 µg/m<sup>3</sup>. Volume kendaraan terus mengalami penurunan pada jam 08.00-11.00 WIB dan naik kembali pada jam 11.00-12.00 diduga hal ini terjadi karena mendekati waktu makan siang sehingga volume lalu lintas meningkat. Namun, konsentrasi NO<sub>x</sub> tertinggi terjadi pada jam 12.00-13.00 WIB sebesar 34.220 µg/m<sup>3</sup> dengan jumlah kendaraan sebesar 142.5 SMP. Kedua fenomena ini sesuai dengan Baskar (2016) dan Maheshwari *et al.* (2011) bahwa, konsentrasi NO<sub>x</sub> yang terjadi sangat dipengaruhi oleh intensitas matahari, suhu, dan petir dengan bantuan energi petir.

### Uji Korelasi antara Total Volume Kendaraan dengan Konsentrasi NO<sub>x</sub>

Uji korelasi linier secara sederhana antara jumlah kendaraan dengan pencemar parameter NO dan NO<sub>2</sub> dilakukan untuk melihat korelasi antara keseluruhan kendaraan dengan kedua parameter di atas. Regresi linier sederhana pada Tabel 2 menggabungkan setiap jumlah kendaraan (dalam satuan SMP) disetiap jenis kendaraan selama 15 hari saat kondisi cerah.

Tabel 2 Hasil perhitungan regresi linier sederhana konsentrasi NO<sub>x</sub> kondisi cerah

Persamaan regresi	r	R <sup>2</sup>
NO = 7.51 + 0.017 X	0.524	0.275
NO <sub>2</sub> = 2.42 + 0.070 X	0.625	0.391

Tabel 3 Hasil Perhitungan regresi linier sederhana konsentrasi NO<sub>x</sub> kondisi hujan

Persamaan regresi	r	R <sup>2</sup>
NO = 7.97 + 0.017 X	0.915	0.837
NO <sub>2</sub> = -6.27 + 0.097 X	0.606	0.367

Tabel 3 menjelaskan kondisi regresi linier sederhana pada saat kondisi hujan. Parameter NO dan NO<sub>2</sub> memiliki nilai b koefisien positif sebesar 0.017 dan 0.097, yang memiliki arti bahwa setiap kenaikan 1 SMP akan menaikkan konsentrasi NO sebesar 0.017 µg/m<sup>3</sup> dan juga menaikkan konsentrasi NO<sub>2</sub> sebesar 0.097 µg/m<sup>3</sup>. Selain itu dapat terlihat bahwa kontribusi NO ketika hujan jauh lebih besar dibandingkan dengan NO<sub>2</sub> yaitu sebesar 83.7% dengan korelasi sangat kuat.

**Uji Korelasi antara Jenis Mesin Kendaraan dengan Konsentrasi NOx**

Pada perhitungan regresi ini jumlah kendaraan dengan jenis mesin bensin akan disatukan, begitu juga dengan jumlah kendaraan dengan mesin diesel. Sehingga didapatkan 2 variabel bebas, yaitu volume kendaraan dengan mesin bensin dan volume kendaraan dengan mesin diesel seperti pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil perhitungan regresi linier berganda konsentrasi NOx kondisi cerah

Persamaan regresi	r	R <sup>2</sup>
NO = 7.91 + 0.008 X <sub>1</sub> + 0.028 X <sub>2</sub>	0.571	0.326
NO <sub>2</sub> = 1.26 + 0.016 X <sub>1</sub> + 0.097 X <sub>2</sub>	0.642	0.412

Tabel 5 Hasil perhitungan regresi linier berganda konsentrasi NOx kondisi hujan

Persamaan regresi	r	R <sup>2</sup>
NO = 7.98 + 0.017 X <sub>1</sub> + 0.019 X <sub>2</sub>	0.898	0.807
NO <sub>2</sub> = -6.39 + 0.074 X <sub>1</sub> + 0.109 X <sub>2</sub>	0.589	0.240

Melalui persamaan regresi pada Tabel 4 dan Tabel 5 dapat diketahui bahwa kendaraan bermesin diesel selalu memiliki

nilai koefisien yang lebih besar dibanding dengan kendaraan bermesin bensin, baik untuk parameter NO maupun NO<sub>2</sub>. Dari hasil ini diketahui bahwa kontribusi mesin diesel terhadap konsentrasi pencemar NO dan NO<sub>2</sub> di udara ambien lebih besar dibandingkan dengan kontribusi kendaraan bermesin bensin. Hal ini sejalan dengan Merker *et al.* (2009) yang menyatakan bahwa mesin diesel memiliki kompresi yang tinggi. Manahan (2005) menambahkan bahwa rasio kompresi yang tinggi selalu disertai dengan temperatur yang tinggi dan produksi nitrogen oksida yang tinggi.

**Analisis Risiko**

Tingkat risiko pemaparan sebuah parameter pencemar terhadap kesehatan manusia direpresentasikan sebagai RQ (*Risk Quotient*). Jika RQ > 1 maka ada risiko dan perlu dikendalikan. Perhitungan RQ melibatkan asupan inhalasi (I) dan juga dosis referensi (RfC). IRIS hanya mengeluarkan nilai RfC untuk NO<sub>2</sub>, sehingga perhitungan analisis risiko dilakukan terhadap parameter NO<sub>2</sub> (IPCS 2004).

Tabel 6 dapat membuktikan bahwa tidak ada nilai RQ yang mencapai lebih dari angka 1. Angka risiko yang paling mendekati nilai 1 diterima oleh pekerja dengan berat 65 kg dengan waktu kerja selama 25 tahun, yaitu sebesar 0.041950. Maka, rata-rata pencemaran yang disebabkan oleh NO<sub>2</sub> di pintu tol terhadap pekerja di gardu tol tidak akan mengalami risiko kesehatan. Namun, pada prinsipnya pengendalian tetap harus dilakukan untuk mereduksi nilai RQ yang ada. Hasil ini membuktikan bahwa hipotesis risiko kesehatan terhadap pekerja di gardu tol ada dan perlu dikendalikan adalah salah.

Tabel 6 Hasil perhitungan risk quotient untuk berbagai variasi berat badan

Durasi Paparan (tahun)	Berat (kg)					
	65	70	75	80	85	90
2	0.003355	0.003118	0.002910	0.002725	0.002565	0.002425
5	0.008350	0.007796	0.007277	0.006822	0.006421	0.006064
10	0.016800	0.015593	0.014553	0.013644	0.012841	0.012128
15	0.025200	0.023389	0.021830	0.020466	0.019262	0.018192
20	0.033600	0.031186	0.029107	0.027288	0.025683	0.024256
25	0.041950	0.038982	0.036384	0.034110	0.032103	0.030320

### KESIMPULAN

Simpulan yang diperoleh terhadap analisis tingkat risiko paparan NO<sub>x</sub> terhadap pekerja di gardu tol akibat volume kendaraan di pintu tol Jagorawi, Bogor adalah sebagai berikut.

1. Pengaruh volume kendaraan dengan konsentrasi NO<sub>x</sub> memiliki pengaruh yang besar, sebab sebagian besar dari hasil uji korelasi antara total volume kendaraan terhadap konsentrasi NO<sub>x</sub> menghasilkan korelasi yang kuat. Untuk korelasi yang lemah disebabkan oleh faktor meteorologis.
2. Jenis kendaraan yang memberikan kontribusi terbesar terhadap pencemar NO<sub>x</sub> di udara ambien adalah kendaraan dengan jenis mesin diesel. Konsentrasi NO<sub>2</sub> di Gerbang Tol Jagorawi, Bogor masih di bawah baku mutu.
3. Angka risiko yang diterima oleh pekerja dengan berat 65 kg dengan waktu kerja selama 25 tahun, yaitu sebesar 0.041950. Maka, rata-rata pencemaran yang disebabkan oleh NO<sub>2</sub> di pintu tol terhadap pekerja di gardu tol tidak akan mengalami risiko kesehatan karena RQ < 1.

### DAFTAR PUSTAKA

Aprianti D. 2011. Analisis Pengaruh Tingkat Volume Lalu Lintas

Kendaraan Di Pintu Tol Terhadap Tingkat Konsentrasi TSP dan Pengukuran Konsentrasi Timbal Di Udara Ambien [skripsi]. Jakarta (ID): Universitas Indonesia.

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2005. Udara Ambien – Bagian 2 : Cara Uji Kadar Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dengan metode *Griess Saltzman* Menggunakan Spektrofotometer, SNI 19-7119.2-2005. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.

Baskar P, Senthilkumar A. 2016. Effects of Oxygen Enchired Combustion on Pollution and Peformance Characteristic of a Diesel Engine. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 7(19): 438-443.

[Dirjen PP dan PL] Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan. 2012. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Jakarta (ID): Bakti Husada.

Hickman A, Hassel D, Joumard R, Samaras Z. 1999. *Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption*. Luxembourg (LU): Transport Research Laboratory.

Hill R, Rinker R, Dale W. 1979. Atmospheric Nitrogen Fixation by Lightning. *American*

- Meteorological Society* 9(37): 179-191.
- Imansyah H. 2008. *Sistem Transportasi Perkotaan yang Buruk merupakan Penyumbang Terbesar Polusi Udara*. Bandung (ID): Wahli.
- [IPCS] International Programme on Chemical Safety . 2004. *Risk Assessment Terminology*. Geneva (CH): WHO.
- Maheshwari R, Bina R, Upma S, Chuhan A, Diwakar S. 2011. Photochemical Smog Pollution and Its Mitigation Measures. *Journal of Advanced Scientific Research*. 2(4): 28-23.
- Manahan S. 2005. *Environmental Chemistry 8<sup>th</sup> Edition*. New York (US): CRC Press
- Merker G, Schwarz C, Teichmann R. 2009. *Combustion Engine Development, Mixture Formation, Combustion, Emissions an Simulation*. New York (US): Springer.
- Pasha A. 2011. Simulasi Dispersi Gas Karbon Monoksida (CO) Dalam Gardu Tol Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) Studi Kasus: Gerbang Tol Bogor [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Radytia J. 2011. Pengaruh Volume Kendaraan Terhadap Konsentrasi Pencemar NOx pada udara ambien di Pintu Tol Cililitan [skripsi]. Jakarta (ID): Universitas Indonesia.
- Wardhana A. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta (ID): Penerbit ANDI.
- Wu E, Kuo S. 2013. A Study on the Use of a Statistical Analysis Model to Monitor Air Pollution Status in an Air Quality Total Quantity Control District. *Atmosphere* 13(4): 349-364.

