



UNIVERSITAS INDONESIA

**Pengaruh Volume Kendaraan terhadap Konsentrasi Pencemar
NO_x pada Udara Ambien di Pintu Tol
(Studi Kasus : Pintu Tol Cililitan 2)**

SKRIPSI

**JEVON RADYTIA
0706275656**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
DESEMBER 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**Pengaruh Volume Kendaraan terhadap Konsentrasi Pencemar
NO_x pada Udara Ambien di Pintu Tol
(Studi Kasus : Pintu Tol Cililitan 2)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**JEVON RADYTIA
0706275656**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
DESEMBER 2011**



UNIVERSITY OF INDONESIA

**Influence of Vehicles Traffic Volume to Concentration of NO_x
Pollutant in Ambient Air at Toll Gate
(Case Study : Cililitan 2 Toll Gate)**

FINAL REPORT

Submitted as one of the requirement needed to obtain the Engineer Bachelor
Degree

**JEVON RADYTIA
0706275656**

**FACULTY OF ENGINEERING
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
DECEMBER 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Jevon Radytia

NPM : 0706275656

Tanda Tangan : 

Tanggal : 29 Desember 2011

STATEMENT OF ORIGINALITY

This final report is the result of my own work,
and all the sources which is quoted or referred
I have stated correctly.

Name : Jevon Radytia

NPM : 0706275656

Signature : 

Date : December 29th, 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Jevon Radytia

NPM : 0706275656

Program Studi : Teknik Lingkungan

Judul Skripsi : Pengaruh Volume Kendaraan terhadap Konsentrasi Pencemar
NO_x pada Udara Ambien di Pintu Tol (Studi Kasus : Pintu Tol
Cililitan 2)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Gabriel S. B. Andari, M.Eng, Ph.D.

(*gabriel*)

Pembimbing : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA

(*setyo*)

Penguji : Ir. El Khobar M. Nazech, M.Eng

(*elkhobar*)

Penguji : Dr. Nyoman Suwartha ST, M.Agr

(*nyoman*)

Ditetapkan di : Depok.....

Tanggal : 14 Desember 2011

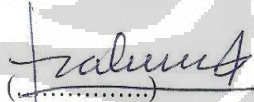
STATEMENT OF LEGITIMATION


This final report submitted by:


Name : Jevon Radytia
NPM : 0706275656
Majoring : Environmental Engineering
Title : Influence of Vehicles Traffic Volume to Concentration of NO_x
Pollutant in Ambient Air at Toll Gate (Case Study: Cililitan 2
Toll Gate)

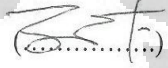
Has been successfully defended in front of the examiner and was accepted as part of the necessary requirement to obtain Engineer Bachelor Degree in Environmental Engineering Program, Engineering Faculty, University of Indonesia.

EXAMINERS

Consultant : Ir. Gabriel S.B. Andari Kristanto, M.Eng, Ph.D. 

Consultant : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA. 

Examiner : Ir. El Khobar Muhaemin Nazech, M.Eng. 

Examiner : Dr. Nyoman Suwartha ST, M.Agr 

Decided at : Depok

Date : December 14th, 2011

KATA PENGANTAR

Ucapan syukur yang begitu besar penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus oleh karena kekuatan dan kasihNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Lingkungan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari tanpa adanya bimbingan, arahan, dan dukungan dari berbagai pihak, penulis tidak akan dapat menyelesaikan skripsi ini. Karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Gabriel S.B. Andari, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan juga motivasi selama penulis mengerjakan skripsi ini.
2. Dr. Ir. Setyo.S.Moersidik, DEA selaku dosen pembimbing skripsi dan juga pembimbing akademis yang telah mengarahkan penulis di dalam menjalani perkuliahan dan skripsi.
3. Para dosen Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan UI yang telah memberikan banyak pelajaran dan ilmu.
4. Pak Nikson, Pak Ahdiyati, Bu Uni, dan Bapak Alm. Zainal selaku pegawai kantor Jasa Marga cabang Cililitan yang telah banyak membantu dan mengarahkan selama penulis melakukan pengambilan sampel udara.
5. Pak Leo dan Mba Ratry selaku pegawai kantor pusat yang telah memberikan perizinan untuk masuk ke kantor cabang.
6. Pegawai kantor Jasa Marga lainnya yang telah menyediakan data-data yang penulis butuhkan, baik secara lisan (wawancara) maupun tulisan.
7. Dewi Aprianti sebagai teman skripsi dan yang paling banyak membantu penulis di dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Lucy, Vera, dan Erik, sebagai ketiga orang yang paling berpengaruh terhadap hidup penulis selama berkuliah di Fakultas Teknik.
9. Teman-teman seperjuangan TL07 di kala senang dan duka, tangis dan tawa, Steve (Tambun), Osha, Azhar (Mojol), temen-temen kongko Eka, Fahmi, Praw, Juni, dan seluruh sahabat TL07 lainnya yang tak bisa disebutkan satu-persatu.

10. Laboran Teknik Penyehatan Lingkungan: Diah dan Mba Licka yang telah membantu selama penulis melakukan penelitian.
11. Mba Fitri, Mba Dian, dan seluruh Karyawan Departemen Fakultas Teknik Sipil yang telah membantu penulis dalam urusan administrasi di kampus.
12. Keluarga Besar POFTUI yang mewarnai perjalanan perkuliahan penulis di Fakultas Teknik.
13. Petugas *Cleaning Service* di pintu tol yang telah meminjamkan tempat istirahatnya saat penulis melakukan pengambilan data.
14. Temen-temen kos: Angga dan Dapot sebagai teman yang memberikan semangat dan juga hiburan.
15. Ucapan terima kasih terkhusus kepada orang-orang rumah yang senantiasa mendukung penulis dalam bentuk perhatian, motivasi, doa, nasihat, material, dan lain-lainnya, untuk Mama (Ibu Anita Sembiring), Ka Lia, dan adik saya Lisa.

Penulis menyadari penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Penulis mengharapkan semoga skripsi ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan pembaca pada umumnya serta dapat memberikan kontribusi pada dunia ilmu pengetahuan.

Jakarta, Desember 2011

Jevon Radytia

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademika Universitas Indonesia, Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jevon Radytia

NPM : 0706275656

Program Studi : Teknik Lingkungan

Departemen : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengaruh Volume Kendaraan terhadap Konsentrasi Pencemar NO_x pada Udara Ambien di Pintu Tol (Studi Kasus : Pintu Tol Cililitan 2, Bulan Maret-April 2011)

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 16 Desember 2011

Yang menyatakan,



(Jevon Radytia)

ABSTRAK

Nama : Jevon Radytia

Program Studi : Teknik Lingkungan

Judul Skripsi : Pengaruh Volume Kendaraan terhadap Konsentrasi Pencemar NO_x pada Udara Ambien di Pintu Tol (Studi Kasus: Pintu Tol Cililitan 2)

Sektor transportasi merupakan salah satu bentuk kemajuan teknologi yang sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Keberadaan kendaraan, terkhusus kendaraan bermotor dapat mempersingkat waktu tempuh sebuah perjalanan. Namun karena banyaknya jumlah kendaraan yang diproduksi, kerap kali kendaraan-kendaraan tersebut menyebabkan terjadinya kemacetan di berbagai ruas jalan, tidak terkecuali jalan tol.

Jalan tol merupakan jalan yang dibuat khusus untuk kendaraan beroda empat atau lebih. Sistem transaksi tiket pada pintu tol mengkondisikan kendaraan untuk berhenti. Pada saat volume kendaraan sedang dalam keadaan tinggi, tidak jarang pintu tol ini menjadi area kemacetan. Dampak buruk yang diakibatkan kemacetan tersebut adalah penurunan kualitas udara. Pekerja pengumpul tol diduga menjadi orang-orang yang terkena dampak negatif akibat adanya pencemaran ini.

Salah satu parameter pencemar di udara yang berbahaya dan diemisikan oleh kendaraan adalah NO_x . Karena itu perlu dilakukan penelitian terhadap konsentrasi NO_x pada udara ambien di sekitar pintu tol dan melihat risikonya terhadap kesehatan para pekerja pengumpul tol. Pengukuran NO_x pada udara ambien menggunakan metode Griess Saltzman sesuai dengan SNI 19-7119.2-2005. Alat yang digunakan untuk mengambil sampel bernama *impinger*. Pengambilan data dilakukan pukul 06.00-13.00. Konsentrasi NO_x terbesar pada penelitian ini adalah $159,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dengan melihat hubungan antara konsentrasi NO_x terhadap jumlah kendaraan yang melalui pintu tol, diperoleh nilai korelasi terhadap parameter NO selama 3 hari sebesar 0,21; -0,28; dan 0,51, sedangkan untuk NO_2 adalah -0,19; 0,36; dan 0,04. Munculnya korelasi yang sangat lemah disebabkan karena adanya faktor lain yang menentukan jumlah konsentrasi NO_x di udara selain kendaraan, seperti faktor alam dan meteorologis.

Penelitian ini mendapati kendaraan jenis kendaraan bermotor penarik atau gandeng atau tempel menjadi kontributor terbesar polutan NO_x di udara. Hasil penelitian ini sekaligus menunjukkan bahwa konsentrasi NO_x yang diemisikan kendaraan amat dipengaruhi oleh volume silinder kendaraan. Risiko kesehatan terhadap pekerja tol dinyatakan tidak ada karena *Risk Quotient* (RQ) < 1. Angka RQ tertinggi adalah sebesar 0,50.

Kata Kunci: konsentrasi NO_x , pintu tol Cililitan 2, volume kendaraan

ABSTRACT

Name : Jevon Radytia
Majoring : Environmental Engineering
Title : Influence of Vehicles Traffic Volume to Concentration of NO_x
Pollutant in Ambient Air at Toll Gate (Case Study: Cililitan 2
Toll Gate)

Transportation is one of the technology advances that holds a very important function in human's daily activities. The existence of vehicles, especially the motorized vehicles, can greatly shorten the time people need to reach their destination. But then, because there are more and more vehicles been produced these days, frequently they have been causing traffic jams everywhere on the street and the worse part is sometimes it also happen at freeway.

Freeway is especially made for vehicles with four wheels or more. Ticket transaction system on toll gate creates a situation where every vehicle has to stop. When the vehicles volume is in peak situation, sometimes traffic jam could happen at the toll gate. One of the negative effects for this situation is the degradation of air quality. The officers who collect the toll estimated to be the one that suffer the most from the air pollution.

One of the pollutants in the air that emitted by vehicles is NO_x. Therefore, there is a need to do the experiment on the concentration of NO_x in ambient air around the toll gate and to observe the health risks of the officers that have been exposed to the pollutant. NO_x measurement in ambient air is using Griess Saltzman's method according to SNI 19-7119.2-2005. The name of the equipment that is used for taking the data is *impinger*. The air sample is taken from 06.00 AM to 01.00 PM. The largest concentration of NO_x from this experiment is 159,94 µg/m³.

This experiment shows that heavy duty truck is the biggest contributor of NO_x pollutant in the air. It shows that NO_x concentration that emitted by vehicles is depending on the volume of the vehicle's cylinder. And also, it is determined that there are no health risks upon the officers because Risk Quotient (RQ) < 1. The highest RQ is 0,5.

Key Words : NO_x concentration, Cililitan 2 toll gate, vehicles traffic volume

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pertanyaan Penelitian.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Ruang Lingkup.....	3
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Transportasi.....	5
2.1.1 Kendaraan Bermotor	5
2.1.2 Jalan Tol.....	6
2.2 Pencemaran Udara	8
2.2.1 Atmosfer dan Udara	8
2.2.2 Pengertian dan Bahan Pencemar Udara	8
2.2.3 Klasifikasi Pencemar Udara.....	9
2.3 Meteorologis	11
2.4 Pencemar NO _x	12
2.4.1 Definisi, Sifat, dan Baku Mutu	12
2.4.2 Sumber Pencemar.....	13
2.4.3 Pembentukan NO _x	14
2.4.4 Dampak Pencemar	15

2.4.5	Reaksi di Atmosfer.....	16
2.4.6	Data Eksisting di Jakarta dan Sekitarnya.....	18
2.5	Polutan NO _x oleh Mesin Kendaraan Bermotor.....	19
2.6	Analisis Risiko.....	23
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		26
3.1	Hipotesis Penelitian.....	26
3.2	Lokasi Penelitian.....	26
3.3	Populasi dan Sampel Penelitian.....	27
3.3.1	Populasi dan Sampel Kendaraan.....	27
3.3.2	Sampel Pencemar Udara.....	27
3.4	Variabel.....	27
3.5	Metode Pengambilan Sampel.....	28
3.5.1	Pengukuran Volume Kendaraan.....	28
3.5.2	Pengukuran Konsentrasi NO _x	30
3.5.3	Pengukuran Analisis Risiko.....	30
3.6	Waktu Pengambilan Sampel Udara.....	31
3.7	Metode Pengolahan Data.....	31
3.7.1	Uji Korelasi Volume Kendaraan terhadap Konsentrasi NO _x	31
3.7.1.1	Uji Korelasi antara Jenis Mesin Kendaraan dengan Konsentrasi NO _x	31
3.7.1.2	Uji Korelasi antara Golongan Kendaraan dengan Konsentrasi NO _x	32
3.7.1.3	Uji Korelasi antara Total Kendaraan dengan Konsentrasi NO _x	34
3.7.2	Pengolahan Data Konsentrasi NO _x	35
3.7.3	Pengolahan Analisis Risiko.....	35
3.7.3.1	Karakteristik Risiko.....	35
3.7.3.2	Perhitungan Asupan (<i>Intake</i>).....	36
BAB 4 GAMBARAN UMUM.....		38
4.1	Lokasi penelitian.....	38
4.2	Volume Kendaraan yang Melintas di Sepanjang Jalan Tol CTC.....	39
4.3	Kondisi Eksisting Gerbang Tol Cililitan.....	41
4.4	Petugas Pengumpul Tol.....	42
4.5	Upaya Pengendalian Konsentrasi dan Dampak Pencemaran Udara.....	43
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		44
5.1	Pemeriksaan <i>Background</i> Konsentrasi NO _x	44
5.2	Data Konsentrasi NO _x	45
5.3	Korelasi antara Kendaraan dan Konsentrasi NO _x	47

5.3.1	Korelasi Variasi Mesin Kendaraan dengan Konsentrasi NO _x	47
5.3.2	Korelasi antara Golongan Kendaraan dengan Konsentrasi NO _x ...	51
5.3.3	Korelasi antara setiap Golongan Kendaraan terhadap Konsentrasi NO _x dengan melihat Persamaan Fluktuasi pada Grafik.....	53
5.3.4	Korelasi antara Jumlah Kendaraan dengan Konsentrasi NO _x menggunakan Regresi Linier Sederhana.....	57
5.4	Analisa Harian.....	59
5.4.1	Sabtu, 12 Maret 2011	59
5.4.2	Rabu, 6 April 2011	61
5.4.3	Sabtu, 23 April 2011	65
5.4.4	Rabu, 27 April 2011	69
5.5	Perbandingan konsentrasi NO _x	71
5.5.1	Perbandingan konsentrasi NO dan NO ₂ pada 4 hari Pengukuran .	71
5.5.2	Perbandingan Konsentrasi NO _x dengan Jumlah Kendaraan Total di hari II, III, dan IV	73
5.5.3	Perbandingan Konsentrasi NO ₂ dengan Standar Baku Mutu Indonesia	73
5.5.4	Perbandingan dengan Hasil Penelitian Lain	75
5.5.4.1	Perbandingan dengan Hasil Penelitian PT. Jasa Marga	75
5.5.4.2	Perbandingan dengan Hasil Penelitian KLH	77
5.6	Analisis Risiko	79
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		82
6.1	Kesimpulan	82
6.2	Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA		84
LAMPIRAN.....		88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Reaksi Fotokimia Oksidan	15
Gambar 2.2. Grafik Konsentrasi rata-rata Pengukuran NO ₂	18
Gambar 2.3. Grafik Konsentrasi rata-rata Pengukuran NO _x	19
Gambar 2.4. Diagram Pembakaran Sempurna	20
Gambar 2.5. Diagram Pembakaran tidak Sempurna.....	21
Gambar 2.6. Grafik A/F Ratio	22
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 3.2. Lokasi Penelitian	26
Gambar 3.3. Gardu Pengumpul Tol	29
Gambar 3.4. Lokasi Pengambilan Sampel Udara	29
Gambar 3.5. Rangkaian Alat Impinger	30
Gambar 4.1. Lokasi Penelitian	38
Gambar 5.1. Grafik Perbandingan Konsentrasi NO _x pada Pengukuran Gardu Tol no. 13 di Hari Libur (Sabtu, 12/03/2011) dan Hari Kerja (Rabu, 6/04/2011)	46
Gambar 5.2. Grafik Perbandingan Konsentrasi NO _x pada Pengukuran Gardu Tol no. 14 di Hari Libur (Sabtu, 23/04/2011) dan Hari Kerja (Rabu, 27/04/2011)	46
Gambar 5.3. Grafik Perbandingan Fluktuasi Volume Kendaraan 5 Golongan dengan Fluktuasi Konsentrasi NO dan NO ₂ hari Rabu, 6 April 2011	54
Gambar 5.4. Grafik Perbandingan Fluktuasi Volume Kendaraan 5 Golongan dengan Fluktuasi Konsentrasi NO dan NO ₂ hari Sabtu, 23 April 2011	55
Gambar 5.5. Grafik Perbandingan Fluktuasi Volume Kendaraan 5 Golongan dengan Fluktuasi Konsentrasi NO dan NO ₂ hari Rabu, 27 April 2011	55
Gambar 5.6. Posisi Gardu Tol pada Pintu Tol Cililitan II	58
Gambar 5.7. Grafik Fluktuasi Konsentrasi NO dan NO ₂ pada	59
Gambar 5.8. Grafik Fluktuasi Kelembaban dan Suhu	60
Gambar 5.9. Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi NO dan NO ₂ pada Gardu no. 13 Rabu, 6 April 2011	61
Gambar 5.10. Grafik Fluktuasi Kelembaban dan Suhu	61
Gambar 5.11. Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi NO dan NO ₂ pada Gardu no. 14 Sabtu, 23 April 2011.....	65
Gambar 5.12. Grafik Fluktuasi Kelembaban dan Suhu	66
Gambar 5.13. Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi NO dan NO ₂ pada Gardu no. 14 Rabu, 27 April 2011	70
Gambar 5.14. Grafik Fluktuasi Kelembaban dan Suhu	70
Gambar 5.15. Pohon pada Area Pengambilan Sampel	72
Gambar 5.16. Grafik Perbandingan Konsentrasi NO ₂ pada 4 hari Pengamatan dengan Standar Baku Mutu Konsentrasi NO ₂ di Indonesia.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Nilai Satuan Mobil Penumpang (SMP)	6
Tabel 2.2.	Komposisi Udara	8
Tabel 2.3.	<i>A/F Ratio</i> pada berbagai Kondisi Kerja Mesin.....	22
Tabel 2.4.	Dosis-Respon (R_fC , mg/kg/hari) Enam Agen Risiko Udara yang telah Tersedia untuk Karakterisasi Risiko Nonkarsinogenik	24
Tabel 3.1.	Jadwal Pengambilan Sampel	31
Tabel 4.1.	Deskripsi Jalan Tol Cawang-Tomang-Cengkareng.....	39
Tabel 4.2.	Jumlah Kendaraan berdasarkan Golongan 1-5	40
Tabel 4.3.	Strategi Transaksi pada Gardu Tol	41
Tabel 4.4.	Peralatan di dalam Gardu Tol.....	42
Tabel 5.1.	Hasil Pengukuran Konsentrasi NO dan NO ₂ sebagai <i>Background</i> Penelitian	44
Tabel 5.2.	Waktu dan Titik Pengambilan Sampel Udara	45
Tabel 5.3.	Hasil Perhitungan Regresi Linier Berganda 2 untuk Konsentrasi NO dan NO ₂ pada hari II, III, dan IV	49
Tabel 5.4.	Hasil Perhitungan Regresi Linier Berganda 5 untuk Konsentrasi NO dan NO ₂ pada hari II, III, dan IV	52
Tabel 5.5.	Hasil Analisa Perbandingan Fluktuasi Volume Kendaraan 5 Golongan dengan Fluktuasi Konsentrasi NO dan NO ₂ hari II, III, dan IV	56
Tabel 5.6.	Hasil Perhitungan Regresi Linier Sederhana untuk Konsentrasi NO dan NO ₂ pada hari II, III, dan IV	58
Tabel 5.7.	Perbandingan Jumlah Kendaraan Total dengan Konsentrasi NO _x di hari II, III, dan IV	73
Tabel 5.8.	Perbandingan Konsentrasi NO ₂ pada 4 hari Pengamatan dengan Standar Baku Mutu Konsentrasi NO ₂ di Indonesia	74
Tabel 5.9.	Hasil Pengukuran Kualitas Udara oleh PT. Jasa Marga bulan Oktober s/d November 2010 pada 15 Titik Lokasi Pengamatan.....	76
Tabel 5.10.	Perbandingan Konsentrasi NO ₂ 4 hari Pengamatan dengan Data Konsentrasi NO ₂ yang diperoleh dari Pengukuran PT. Jasa Marga.	77
Tabel 5.11.	Hasil Pengukuran Konsentrasi NO ₂ dan NO _x yang dilakukan KLH pada bulan April 2004-Desember 2005.....	78
Tabel 5.12.	Hasil Konversi Satuan Konsentrasi NO ₂ dan NO _x 4 hari Pengamatan dari $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ke <i>part per billion</i> (ppb).....	78
Tabel 5.13.	Hasil Perhitungan <i>Risk Quotient</i> untuk Masing-masing Variasi Berat Badan dan Durasi Paparan	81

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi secara global memiliki peranan yang sangat nyata di dalam kehidupan manusia sehari-hari. Keberadaan benda-benda atau alat-alat berbasis teknologi mempermudah setiap individu untuk menyelesaikan pekerjaannya. Sektor transportasi merupakan bagian dari kemajuan teknologi yang sangat penting dan telah terbukti memiliki kontribusi yang signifikan dalam membangun kota-kota besar dunia.

Berdasarkan laporan BPLHD Jakarta (2010), sepanjang tahun 2001 hingga 2010, terjadi peningkatan yang signifikan dalam bidang transportasi, terkhusus penambahan jumlah kendaraan di Jakarta. Jumlah kendaraan meningkat dari 3,5 juta menjadi 9,6 juta. BPLHD Jakarta (2010) juga menambahkan bahwa kenaikan jumlah kendaraan tersebut berdampak pada kemacetan jalan yang berujung pada penurunan kualitas udara di area kemacetan tersebut.

Yayasan Lembaga Konsumen Indonesia (2011) menyatakan bahwa sektor transportasi di Jakarta memberikan kontribusi pada polusi udara sekitar 60-80%, diikuti oleh sektor industri dan rumah tangga. Data ini menunjukkan bahwa jalan yang dipadati kendaraan bermotor diasumsikan memiliki risiko yang tinggi terhadap kehadiran berbagai zat pencemar di udara, baik itu jalan raya maupun juga jalan tol.

Jalan tol merupakan jalan bebas hambatan yang dikhususkan bagi kendaraan beroda empat atau lebih. Jalan tol memiliki waktu-waktu tertentu di mana volume kendaraan berada pada kepadatan tinggi (*peak time*) dan saat-saat di mana jalan tol jarang dilalui oleh kendaraan.

Pintu tol, baik di lingkaran Jakarta maupun lingkaran luar Jakarta merupakan daerah yang diduga memiliki tingkat pencemaran yang tinggi bila dilihat dari volume kendaraan yang melintas setiap harinya. Akibatnya, emisi polutan dari kendaraan yang masuk ke jalan tol ini menimbulkan risiko terpaparnya para pekerja pengumpul tol terhadap berbagai jenis polutan udara tersebut. Salah satu jenis polutan yang keluar dari kendaraan bermotor dan memiliki dampak yang sangat berbahaya terhadap kesehatan adalah NO_x .

Oksida Nitrogen (NO_x) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2). Studi epidemiologi yang dilakukan oleh WHO (2003) telah membuktikan bahwa paparan NO_2 dalam waktu yang lama dapat menurunkan fungsi paru-paru dan meningkatkan risiko gangguan pernapasan. Hasil studi yang dilakukan di California Selatan menyebutkan bahwa anak-anak yang berada dalam area yang memiliki tingkat konsentrasi NO_2 lebih tinggi cenderung terkena bronkitis akut, asma, dan gangguan pernapasan seperti batuk.

Berdasarkan hasil studi penelitian tersebut, Jakarta sebagai kota yang dipenuhi dengan kendaraan memerlukan sebuah penelitian terhadap paparan pencemar NO_x , terkhusus pada daerah yang dipadati kendaraan seperti pada area pintu tol. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diketahui hubungan antara volume kendaraan di pintu tol terhadap konsentrasi NO_x di area tersebut. Dan dengan mengetahui rata-rata konsentrasi NO_x , dapat dianalisa seberapa besar tingkat risiko pencemar terhadap kesehatan pekerja pengumpul tol.

1.2 Perumusan Masalah

Belum diketahui konsentrasi NO_x pada udara ambien di sekitar pintu tol dan apa pengaruhnya terhadap kesehatan pekerja pengumpul tol.

1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah tersebut di atas, maka disusun pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Berapa konsentrasi NO_x pada udara ambien di area pintu tol?
2. Pada jam berapakah untuk satu *shift* kerja (06.00-13.00) konsentrasi NO_x mencapai puncaknya?

3. Bagaimana analisa risiko kesehatan pekerja pengumpul tol akibat terpapar oleh polutan NO_2 ?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui konsentrasi maksimum pencemar NO_x di udara ambien pada pintu tol selama jangka waktu yang telah ditetapkan.
2. Mengetahui besarnya pengaruh volume kendaraan terhadap konsentrasi pencemar NO_x pada udara ambien di pintu tol.
3. Mengetahui jenis kendaraan yang memberikan kontribusi terbesar terhadap konsentrasi NO_x pada udara ambien di pintu tol.
4. Mengidentifikasi apakah konsentrasi NO_x yang diukur pada udara ambien melebihi baku mutu yang berlaku di Indonesia.
5. Mengetahui analisa risiko kesehatan terhadap pekerja akibat dampak dari paparan NO_2 .

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan melalui penelitian ini, antara lain:

1. Bagi pemerintah kota Jakarta dan instansi yang terkait, dapat memberi masukan informasi tentang kualitas udara ambien yang ada di lokasi penelitian.
2. Bagi PT Jasa Marga, Tbk, dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam menentukan pengendalian pencemaran NO_x pada lokasi penelitian serta dalam menentukan strategi yang tepat untuk mereduksi dampak pencemar NO_x terhadap pekerja pengumpul tol.
3. Bagi penyusun, dapat menjadi sarana dalam pengembangan pengetahuan dan kemampuan terkait dengan pencemaran udara dan pengendaliannya.

1.6 Ruang Lingkup

Ruang Lingkup yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran dilakukan di dua Gardu Tol Cililitan Cabang CTC (Cawang Tomang Cengkareng).

2. Pengukuran dibatasi oleh waktu untuk satu *shift* pekerja, yaitu pukul 06.00-13.00. Batasan *shift* dilakukan untuk melihat besarnya paparan di tiap jam selama pekerja *shift* pagi mengerjakan tugasnya. Pengukuran dilakukan selama 4 hari dengan 2 hari kerja dan 2 hari libur.
3. Penelitian dilakukan terhadap udara ambien dengan jenis pencemar udara NO_x yang terdiri dari NO dan NO_2 .
4. Pengambilan sampel dilakukan berdasarkan kategori kendaraan M, N, dan O yang dihitung dengan satuan mobil penumpang (smp).
5. Analisis risiko kesehatan lingkungan hanya dilakukan terhadap polutan jenis NO_2 karena *Integrated Risk Information System* (IRIS) yang dikeluarkan EPA hanya mencantumkan RfC (dosis referensi) untuk NO_2 .

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disajikan dalam 6 (enam) bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Bab ini membahas latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan, dan manfaat penulisan, ruang lingkup, dan juga sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas tentang teori-teori yang berkaitan dengan penelitian ini yang akan digunakan juga di dalam menganalisa hasil yang diperoleh. Tinjauan pustaka dapat diperoleh melalui buku, jurnal, dan berbagai tulisan di internet.

Bab III Metode Penelitian

Bab ini membahas metode penelitian, prosedur penelitian, sampai kepada pengolahan data.

Bab IV Gambaran Umum

Bab ini membahas gambaran lokasi studi, data sekunder, dan berbagai kondisi di lapangan yang berpengaruh pada penelitian ini.

Bab V Hasil dan Pembahasan

Bab ini membahas hasil yang diperoleh di lapangan dan menganalisisnya berdasarkan literatur.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dan saran terhadap keseluruhan pembahasan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transportasi

Menurut Fricker (2004), transportasi didefinisikan sebagai segala sesuatu yang terlibat di dalam perpindahan manusia ataupun benda dari tempat asalnya ke tempat lain yang menjadi tujuan. Kedua hal yang paling umum terlibat di dalam transportasi adalah kendaraan dan jalan.

2.1.1 Kendaraan Bermotor

Berdasarkan Peraturan Menteri dalam Negeri No. 23 tahun 2011 tentang Penghitungan Dasar Pengenaan Pajak Kendaraan Bermotor dan Bea Balik Nama Kendaraan Bermotor, Kendaraan Bermotor didefinisikan sebagai semua kendaraan beroda beserta gandengannya yang digunakan di semua jenis jalan darat, dan digerakkan oleh peralatan teknik berupa motor atau peralatan lainnya yang berfungsi untuk mengubah suatu sumber daya energi tertentu menjadi tenaga gerak kendaraan bermotor yang bersangkutan, termasuk alat-alat berat dan alat-alat besar yang dalam operasinya menggunakan roda dan motor dan tidak melekat secara permanen serta kendaraan bermotor yang dioperasikan di air.

Hampir di seluruh bagian kota, terkhusus Jakarta sebagai ibukota, permintaan kendaraan bermotor terus meningkat. Hal ini menyebabkan berbagai perusahaan otomotif berlomba-lomba dalam mempromosikan dan memproduksi kendaraan bermotor, baik itu kendaraan beroda dua seperti sepeda motor ataupun kendaraan beroda empat dan lebih seperti mobil, bus, dan truk. Besarnya jumlah kendaraan yang diproduksi memberikan dampak meningkatnya volume lalu lintas.

Peraturan Menteri Perhubungan No. 14 Tahun 2006 tentang Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas di Jalan menjelaskan bahwa volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu pada ruas jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan/jam atau satuan mobil penumpang (smp)/jam.

Tabel 2.1. Nilai Satuan Mobil Penumpang (SMP)

Tipe Kendaraan	Nilai SMP
Mobil penumpang, pick up, station wagon	1
Bus sedang	1.5
Bus besar	2
Truk	2

Sumber: Buku II NKLD DKI Jakarta 1997, hal 133

2.1.2 Jalan Tol

Menurut Peraturan Pemerintah RI no. 15 tahun 2005 tentang Jalan Tol, jalan tol didefinisikan sebagai jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol. Sumber lain mengartikan jalan bebas hambatan atau jalan tol sebagai jalan untuk lalu lintas menerus dengan pengendalian jalan masuk secara penuh, baik merupakan jalan terbagi ataupun tak terbagi (HCM, 1997). Peraturan Pemerintah tentang jalan tol tersebut juga menyatakan tentang maksud dan tujuan diselenggarakannya jalan tol, yaitu sebagai berikut:

- a. Penyelenggaraan jalan tol dimaksudkan untuk mewujudkan pemerataan pembangunan dan hasil-hasilnya serta keseimbangan dalam pengembangan wilayah dengan memperhatikan keadilan, yang dapat dicapai dengan membina jaringan jalan yang dananya berasal dari pengguna.
- b. Penyelenggaraan jalan tol bertujuan meningkatkan efisiensi pelayanan jasa distribusi guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi terutama di wilayah yang sudah tinggi tingkat perkembangannya.

Penyelenggaraan jalan tol dilakukan oleh Pemerintah dan/atau Badan Usaha Milik Negara. Perbedaan jalan tol dengan jalan raya atau jalan umum lainnya terletak pada kewajiban bagi para pengguna tol untuk membayar uang tol. Pembayaran ini ditujukan untuk pengembalian investasi, pemeliharaan, dan pengembangan jalan tol. Oleh karena itu, tentunya jalan tol sebagai lalu lintas alternatif memiliki pelayanan yang lebih baik dibanding dengan jalan umum yang ada.

Jalan tol dibangun oleh pemerintah sebagai jawaban atas persoalan kemacetan yang terus-menerus melanda kota-kota besar seperti Jakarta.

Banyaknya jumlah kendaraan yang hilir mudik di jalan menimbulkan kesadaran akan adanya kebutuhan penambahan infrastruktur ruas jalan. Jalan tol dibangun sebagai jalan alternatif bagi kendaraan beroda empat atau lebih untuk mencapai tujuan.

Keunikan dari jalan tol adalah dibuat dengan bentuk lajur sebagai pintu masuk dan keluarnya. Lajur merupakan bagian jalur yang memanjang, dengan atau tanpa marka jalan, yang memiliki lebar cukup untuk satu kendaraan bermotor sedang berjalan, selain sepeda motor (PP No. 43 Tahun 1993 tentang Prasarana dan Lalu Lintas Jalan). Pada lajur inilah terdapat proses transaksi baik itu pengambilan tiket ataupun pembayaran tiket tol. Sistem lajur ini menyebabkan setiap kendaraan harus berhenti sejenak mengantre di pintu tol untuk melakukan transaksi.

Pada tanggal 19 November 2009, PT. Jasa Marga sebagai salah satu badan pengelola jalan tol, mengeluarkan sistem pembayaran dengan model terbaru. Model pembayaran ini biasa disebut dengan *e-toll*, yaitu pembayaran dengan menggunakan kartu elektronik seperti kartu *voucher* pulsa. Proses pembayaran dilakukan oleh pengemudi kendaraan dengan cara menyentuhkan kartu *e-toll* pada terminal yang disediakan pada pintu tol. Sistem pembayarannya pun hampir mirip dengan pembelian pulsa telpon genggam. Di dalam setiap kartu elektronik yang telah dibeli terdapat jumlah nilai (uang) yang sudah ditetapkan. Dengan menyentuhkan kartu pada terminal yang telah tersedia, maka secara otomatis nilai uang yang ada di dalamnya akan berkurang sesuai dengan tarif tol yang dikenakan pada pengemudi.

Penggunaan *e-toll* dimunculkan guna meningkatkan kecepatan transaksi pada pintu tol yang kerap kali mengalami kemacetan. Pada tahun 2011, *e-toll* sudah diberlakukan di ruas Jalan Tol dalam Kota (khusus untuk ruas tol yang dikelola JasaMarga) dan Jalan Tol Soedyatmo. Di samping efisiensi dalam kecepatan transaksi, sistem *e-toll* juga dapat mengurangi jumlah pegawai pengumpul tol yang harus bekerja di dalam gardu pengumpul tol.

2.2 Pencemaran Udara

2.2.1 Atmosfer dan Udara

Atmosfer merupakan campuran gas yang melingkupi setiap benda yang berhubungan dengan angkasa (seperti Bumi), di mana benda angkasa tersebut memiliki medan gravitasi yang cukup kuat untuk mencegah gas-gas tersebut lolos. Di dalam atmosfer terdapat beberapa jenis gas dengan volume yang berbeda-beda.

Tabel 2.2. Komposisi Udara

Konsentrasi	Konsentrasi dalam Volume	
	(ppm)	(%)
Nitrogen (N ₂)	780.900	78,09
Oksigen (O ₂)	209.500	20,95
Argon (Ar)	9.300	0,93
Karbon dioksida (CO ₂)	320	0,032
Neon (Ne)	18	1,8 x 10 ⁻³
Helium (He)	5,2	5,2 x 10 ⁻⁴
Metana (CH ₄)	1,5	1,5 x 10 ⁻⁴
Kripton (Kr)	1,0	1,0 x 10 ⁻⁴
H ₂	0,5	5,0 x 10 ⁻⁵
H ₂ O	0,2	2,0 x 10 ⁻⁵
CO	0,1	1,0 x 10 ⁻⁵
Xe	0,08	8,0 x 10 ⁻⁶
O ₃	0,02	2,0 x 10 ⁻⁶
NH ₃	0,006	6,0 x 10 ⁻⁷
NO ₂	0,001	1,0 x 10 ⁻⁷
NO	0,0006	6,0 x 10 ⁻⁸
SO ₂	0,0002	2,0 x 10 ⁻⁸
H ₂ S	0,0002	2,0 x 10 ⁻⁸

Sumber: Giddings, 1973

2.2.2 Pengertian dan Bahan Pencemar Udara

Menurut PP no 41 tahun 1999, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.

Nevers (1995) mendefinisikan pencemaran udara sebagai kehadiran materi yang tidak diinginkan di udara, dalam jumlah tertentu sehingga dapat menghasilkan dampak yang merusak. Nevers (1995) juga menyebutkan bahwa dampak dari pencemaran udara meliputi gangguan bagi barang-barang properti

seperti pelapukan atau korosi, gangguan kesehatan akibat paparan singkat dengan konsentrasi polutan yang tinggi, atau paparan jangka panjang dengan konsentrasi polutan rendah, serta gangguan pada penglihatan.

Menurut Miller (1992) dalam Soedomo (2001), dari ratusan zat pencemar udara dalam troposfer, terdapat sembilan kelompok zat pencemar penting yakni:

- a. Karbon oksida, terdiri atas karbon monoksida (CO) dan karbondioksida (CO₂);
- b. Sulfur oksida, terdiri atas sulfur dioksida (SO₂) dan sulfur trioksida (SO₃);
- c. Nitrogen oksida, yakni nitrogen monoksida (NO), nitrogen dioksida (NO₂) dan nitrous oksida (N₂O);
- d. *Volatile Organic Compounds (VOCs)*, seperti Metan (CH₄), Benzene (C₆H₆), Formaldehyde (CH₂O), Chlofluorocarbons (CFCs) dan halon bermuatan bromine;
- e. *Suspended particular matter (SPM)*, butir-butir partikulat seperti debu, karbon, asbestos, tembaga, arsenic, cadmium, nitrat (NO₃) dan butir-butir cairan kimia seperti sulfuric acid (H₂SO₄), minyak PCBs, dioxins dan berbagai pestisida;
- f. *Photochemical oxidant*, seperti ozone (O₃), peroxyacyl nitrates, hydrogen peroxide begitu pula formaldehyde yang terbentuk dalam atmosfer sebagai rekasi bahan kimia yang dipicu oleh sinar matahari;
- g. Bahan radioaktif seperti radon-222, iodine-131, strontium-90, plutonium-239 dan radioisotopes yang masuk atmosfer sebagai gas atau bahan partikulat;
- h. Panas yang dihasilkan oleh pembakaran minyak bumi dan yang serupa;
- i. Kebisingan yang dihasilkan kendaraan bermotor, pesawat terbang, kereta api bunyi mesin dan yang serupa.

2.2.3 Klasifikasi Pencemar Udara

Pencemar udara dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok berdasarkan asal mulanya dan kelanjutan perkembangannya di udara, yaitu: sumber pencemar primer dan sumber pencemar sekunder (Rima, 2004).

- a. Pencemar primer adalah semua pencemar yang berada di udara dalam bentuk hampir tidak berubah, sama seperti saat ia dibebaskan dari

sumbernya semula sebagai hasil dari suatu proses tertentu. Pencemar primer pada umumnya berasal dari sumber-sumber yang diakibatkan oleh aktivitas manusia, seperti dari industri maupun emisi kendaraan bermotor seperti CO, SO₂, NO_x, H₂S, NH₃, bertindak sebagai *prekursor* untuk terbentuknya zat pencemar sekunder.

- b. Pencemar sekunder adalah semua pencemar di udara yang sudah berubah karena hasil reaksi tertentu antara dua atau lebih kontaminan/polutan primer dengan kontaminan/polutan lain yang ada di dalam udara. Contoh pencemar sekunder adalah NO₂, ozon (O₃), Peroxy Acetyl Nitrate (PAN), Asam Sulfat, Asam Nitrat, dll.

Pencemaran udara tentunya membawa dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Berikut adalah pembagiannya berdasarkan pengaruhnya terhadap kesehatan (<http://buletinlitbang.dephan.go.id>).

- a. Iritasia.
Biasanya *polutan* ini bersifat korosif, merangsang proses peradangan hanya pada saluran pernapasan bagian atas, yaitu saluran pernapasan mulai dari hidung hingga tenggorokkan. Misalnya *sulfur dioksida*, *sulfurtrioksida*, *amoniak*, dan debu. Iritasi terjadi pada saluran pernapasan bagian atas dan juga dapat mengenai paru-paru itu sendiri.
- b. Asfiksia.
Hal ini terjadi karena berkurangnya kemampuan tubuh dalam menangkap oksigen atau mengakibatkan kadar O₂ menjadi berkurang. Keracunan gas karbon monoksida mengakibatkan CO akan mengikat hemoglobin, sehingga kemampuan hemoglobin mengikat O₂ berkurang dan terjadilah asfiksia. Penyebabnya adalah gas nitrogen, oksida, metan, gas hidrogen dan helium.
- c. Anestesia. Bersifat menekan susunan syaraf pusat sehingga kehilangan kesadaran, misalnya aeter, aetilene, propane, dan alkohol alifatis.
- d. Toksik. Contoh pencemar yaitu berupa benzene, fenol, toluen dan xylene yang dapat menimbulkan gangguan pada sistem pembuatan darah. Kemudian juga karbon disulfid, metilalkohol yang menyebabkan gangguan terhadap susunan syaraf.

2.3 Meteorologis

Menurut Peavey (1985), permasalahan polusi muncul bukan hanya dari hasil kombinasi antara kontaminan di atmosfer, tetapi juga dari kondisi meteorologis yang buruk dan tentu saja kondisi topografi. Segala bentuk cuaca seperti sistem tekanan, kecepatan dan arah angin, kelembaban, temperatur, dan presipitasi, merupakan dampak dari hubungan antara variabel panas, tekanan, angin, dan embun/uap lembab.

a. Panas

Panas adalah variabel atmosferik yang bersifat kritis karena merupakan katalis utama dalam kondisi iklim. Energi panas dalam atmosfer datang dari gelombang radiasi pendek matahari ($0,5\mu\text{m}$), kebanyakan dalam bentuk cahaya yang terlihat. Bumi memancarkan gelombang yang lebih panjang ($10\mu\text{m}$) yang telah diterima dalam bentuk radiasi panas yang tidak terlihat.

Sebagian sinar matahari dihamburkan oleh molekul-molekul di udara. Sebagian sinar matahari diserap (adsorb) oleh ozon, uap air, karbon dioksida, debu, dan awan pada atmosfer yang lebih rendah. Namun di antara semua itu permukaan bumi merupakan penyerap terbaik untuk energi solar. Semakin jauh dari permukaan bumi maka temperatur akan semakin mengecil (Peavey, 1985:485-487).

b. Tekanan

Di samping panas, tekanan merupakan variabel peting di dalam fenomena meteorologis. Karena udara memiliki berat, keseluruhan atmosfer menekan ke bawah menuju kepada bumi.

Sistem tekanan yang tinggi dicirikan dengan awan yang cerah, angin yang tidak kencang atau ringan, dan atmosfer yang stabil. Tekanan tinggi memantulkan masa udara yang relatif seragam. Pada kondisi yang stabil ini, temperatur dan kelembaban mengalami angka fluktuasi yang sangat kecil pada area yang luas dan perubahan cuaca berangsur sedikit demi sedikit. Kondisi ini menyebabkan dispersi menjadi terbatas, dan kualitas udara oleh karena polutan berada pada kondisi yang buruk.

Sistem tekanan yang rendah biasanya dihubungkan dengan langit yang berawan, angin kencang, kondisi atmosfer yang tidak stabil, dan membentuk gelombang udara. Pada kondisi yang tidak stabil ini, dispersi polutan lebih besar, dan permasalahan polusi udara dapat diminimalkan (Peavey, 1985:491-492).

c. Angin

Angin adalah udara yang bergerak. Aliran angin sangat dipengaruhi oleh bentuk topografi sebuah daerah. Sedangkan variasi bentuk permukaan sangat memengaruhi kecepatan dan arah gerak angin. Angin musim, angin darat, angin laut, *urban heat island* merupakan contoh pengaruh dampak perbedaan topografi baik regional maupun lokal. Pada saat bergesekan dengan permukaan bumi, angin seringkali bergoncang dan dapat berubah menghasilkan turbulensi. Saat terbebas dari halangan, maka kecepatan angin akan semakin besar, dan biasanya bertiup dengan lebih stabil (Peavey 1985:493). Di samping itu, angin juga dipengaruhi oleh keadaan temperatur. Temperatur yang cenderung statis dan tidak berfluktuasi menandakan atmosfer yang stabil dan angin yang tenang.

d. Uap air

Besarnya jumlah uap air dalam udara merupakan indikator kapasitas potensial atmosfer tentang terjadinya presipitasi. Uap air menyerap radiasi bumi sehingga uap air akan menentukan cepatnya kehilangan panas dari bumi sehingga ikut mengatur temperatur.

Menurut Manahan (2005) uap air dapat dikatakan sebagai kelembaban. Kelembaban relatif dinyatakan dalam satuan persen (%). Butiran air dapat bereaksi dengan senyawa di udara dan menyebabkan senyawa tersebut turun ke bumi dalam bentuk cair.

2.4 Pencemar NO_x

2.4.1 Definisi, Sifat, dan Baku Mutu

Nitrogen adalah gas yang memiliki komposisi terbesar di bumi, yaitu sebesar 78%. Jumlah tersebut kemudian diikuti oleh gas O₂ sebesar 21%. Ada tujuh kemungkinan hasil reaksi bila nitrogen bereaksi dengan oksigen, antara lain adalah NO, NO₂, N₂O, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅, dan NO₃. Dari ketujuh unsur tersebut yang memiliki jumlah yang cukup besar yaitu N₂O, NO, dan NO₂, dan yang

menjadi perhatian dalam pencemaran udara hanyalah NO dan NO₂ yang kemudian diklasifikasikan sebagai NO_x (Smoot, 2000).

Nitrogen monoksida (NO) merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sebaliknya nitrogen dioksida (NO₂) berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Senyawa kimia nitrogen oksida dan nitrogen anorganik reaktif lainnya memiliki peranan penting di dalam pembentukan berbagai pencemaran di udara seperti *photochemical smog*, hujan asam, dan penipisan lapisan ozon (Manahan, 2005).

Sifat-sifat dari NO_x menurut Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, 2002):

- a. Dalam jumlah yang sedikit nitrogen oksida dapat menguap dari air, tetapi hampir seluruhnya bereaksi dengan air dan membentuk asam nitrat.
- b. Saat dilepaskan ke tanah, sejumlah nitrogen oksida dapat menguap ke udara. Tetapi hampir keseluruhan akan berubah menjadi asam nitrit atau zat lainnya.
- c. Nitrogen oksida tidak dapat dibentuk dari rantai makanan.

Berdasarkan laporan yang dikeluarkan oleh World Bank Group (1998), rata-rata konsentrasi nitrogen dioksida di daerah perkotaan seluruh dunia berkisar antara 20-90 µg/m³. Nilai konsentrasi maksimum untuk pengukuran 30 menit dan pengukuran 24 jam dapat mencapai 850 µg/m³ dan 400 µg/m³. Untuk jalan yang benar-benar padat, pada pengukuran 1 jam dapat diperoleh konsentrasi yang mencapai 1000 µg/m³.

Baku mutu kualitas udara ambien berdasarkan US EPA untuk NO₂ adalah sebesar 100 µg/m³ atau 0,053 ppm untuk rata-rata tahunan. Peraturan di Indonesia juga hanya mencantumkan baku mutu untuk NO₂ dalam parameter NO_x. PP no. 41 tahun 1999 tentang Pencemaran Udara menetapkan baku mutu NO₂ sebesar 400 µg/m³.

2.4.2 Sumber Pencemar

Kendaraan bermotor menyumbangkan emisi NO_x sebesar setengah dari keseluruhan polutan NO_x yang ada di atmosfer. Disusul dengan instalasi pembangkit listrik yang juga menjadi salah satu penyumbang NO_x yang cukup

besar, yaitu sebesar 20%. Sedangkan jumlah sisanya diemisikan oleh berbagai kegiatan di berbagai sektor industri, seperti pemanas, insinerator, dan turbin gas.

Sebagian lagi diemisikan oleh pembakaran dari mesin diesel, seperti mesin pada penggilingan besi dan baja, pabrik semen, pabrik kaca, kilang minyak, dan pabrik asam nitrit. Nitrogen oksida yang muncul dari sumber alami berasal dari kilat, kebakaran hutan, pohon, semak, dan jamur (US EPA, 1999).

2.4.3 Pembentukan NO_x

Menurut Smoot (2000), NO_x dapat terbentuk melalui sekurang-kurangnya 4 proses reaksi yang terpisah dalam bentuk gas, yang mana diklasifikasikan sebagai *thermal NO*, *prompt NO*, *fuel NO*, *NO reburning*.

a. Thermal NO

Thermal NO terbentuk dari oksidasi nitrogen di udara pada temperatur yang tinggi dan pada kondisi pembakaran yang memiliki sedikit kandungan bahan bakar.

b. Prompt NO

Prompt NO dibentuk melalui reaksi nitrogen di udara dengan hidrokarbon dalam bahan bakar, di mana pembakaran melibatkan bahan bakar dalam jumlah yang besar.

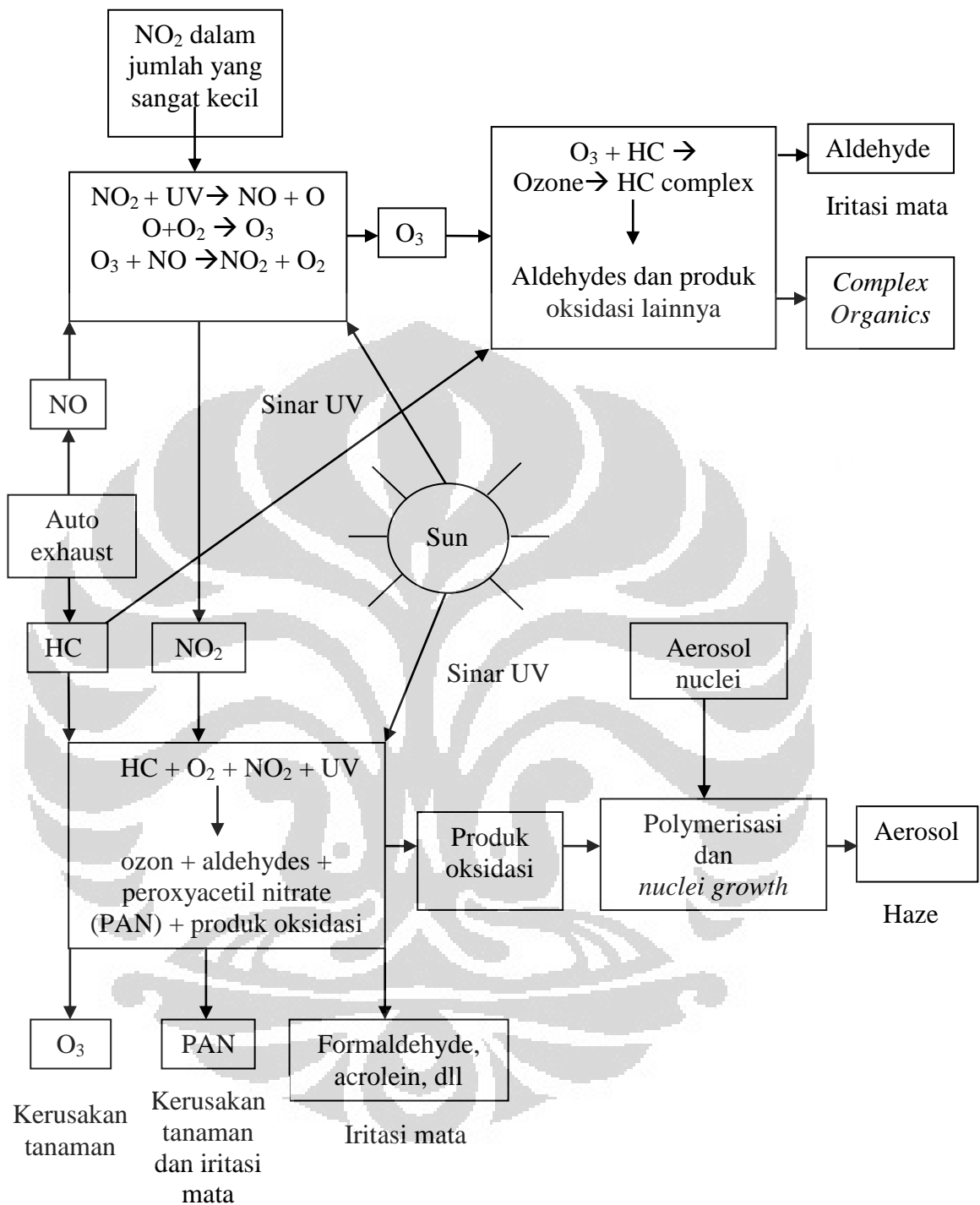
c. Fuel NO

Fuel NO adalah bentuk dari ikatan nitrogen dalam bahan bakar dan biasanya diasumsikan sebagai hasil dari formasi HCN dan atau NH_3 yang dioksidasi ke bentuk NO.

d. NO Reburning

Reburning adalah proses yang digunakan untuk mereduksi emisi NO dengan menambahkan hidrokarbon di dalam bahan bakar.

Di dalam proses pembentukannya, NO_x juga mengalami intervensi dari luar berupa sinar UV dan juga berbagai polutan atau gas-gas lain di atmosfer. Senyawa yang terbentuk akibat reaksi dari NO_x dengan senyawa lain di udara dapat menimbulkan dampak yang lebih berbahaya daripada NO_x itu sendiri. Hal inilah yang menyebabkan NO_x sangat diperhitungkan sebagai pencemar yang perlu dikendalikan.



Gambar 2.1. Reaksi Fotokimia Oksidan

(Sumber: Heihnson, 1999)

2.4.4 Dampak Pencemar

Manahan (2005) menyatakan bahwa NO tidak lebih berbahaya bila dibandingkan dengan NO_2 . Kehadiran NO dalam darah dapat mengikat

hemoglobin dan mengurangi efisiensi transportasi oksigen. Sedangkan pemaparan akut NO_2 dapat menyebabkan bahaya serius pada kesehatan manusia. Pada pemaparan dengan konsentrasi 50-100 ppm selama 1 jam, NO_2 dapat menyebabkan peradangan pada jaringan paru-paru untuk periode 6-8 minggu.

Pemaparan NO_2 pada level konsentrasi yang lebih tinggi mencapai 150-200 ppm dapat menyebabkan timbulnya penyakit *bronchiolitis fibrosa obliterans*, sebuah kondisi yang fatal di dalam 3-5 minggu pemaparan. Dampak kematian juga dapat disebabkan oleh NO_2 , tentunya dengan konsentrasi yang tinggi yaitu mencapai 500 ppm atau lebih dalam 2-10 hari pemaparan. Dampak negatif dari keberadaan NO_x tidak hanya menyerang kesehatan manusia, tetapi juga makhluk hidup lain seperti tumbuhan.

Tumbuhan yang terpapar oleh NO_2 dapat mengalami gangguan jaringan dan timbul noda-noda bintik pada daun tumbuhan tersebut. Bahkan pemaparan NO_2 sebesar 10 ppm pada tanaman dapat menurunkan sifat reversibel tanaman pada proses fotosintesis.

Nitrogen oksida juga bertanggung jawab atas kerugian yang terjadi pada industri tekstil karena senyawa tersebut mampu memudarkan warna pada bahan celup dan tinta. Hal ini telah dibuktikan dengan percobaan menggunakan alat bantu pengering pakaian. Pengering yang digunakan untuk mengeringkan pakaian dimasukkan kandungan NO_x ke dalamnya dan disemprotkan ke pakaian. Hasil yang terlihat setelah dilakukan percobaan adalah adanya perubahan pada warna pakaian.

Banyak kerusakan yang dialami material juga disebabkan oleh NO_x dalam bentuk *secondary nitrates* dan asam nitrat. Contohnya dapat dilihat pada korosi yang terjadi pada besi yang dibiarkan dalam keadaan udara terbuka setelah waktu yang lama.

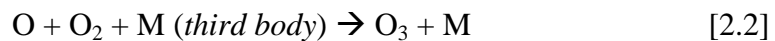
2.4.5 Reaksi di Atmosfer

Manahan (2005) menyebutkan bahwa reaksi yang terjadi secara kimiawi di udara dapat mengubah NO_x menjadi asam nitrat, garam nitrat anorganik, nitrat organik, dan *peroxyacetil nitrate* (PAN). Sekalipun NO merupakan bentuk terutama yang dilepaskan oleh sumber NO_x ke atmosfer, konversi NO menjadi NO_2 terjadi relatif cepat pada atmosfer. Nitrogen dioksida bersifat sangat reaktif

di atmosfer. Senyawa ini dapat menyerap cahaya ultraviolet yang menyebabkan terjadinya fotodisosiasi. Reaksinya adalah sebagai berikut:



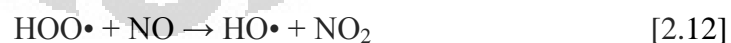
Fotodisosiasi NO_2 oleh cahaya matahari tersebut akan menyebabkan sejumlah reaksi di atmosfer. Berbagai reaksi yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut:



M (*third energy*) adalah energi. Nitrogen dioksida hilang dari atmosfer dalam bentuk asam nitrit, nitrat, atau nitrogen organik. Salah satu produknya, yaitu asam nitrat merupakan penggabungan dinitrogen pentaoksida (hasil reaksi [2.7]) dengan air di udara. Reaksinya adalah sebagai berikut:



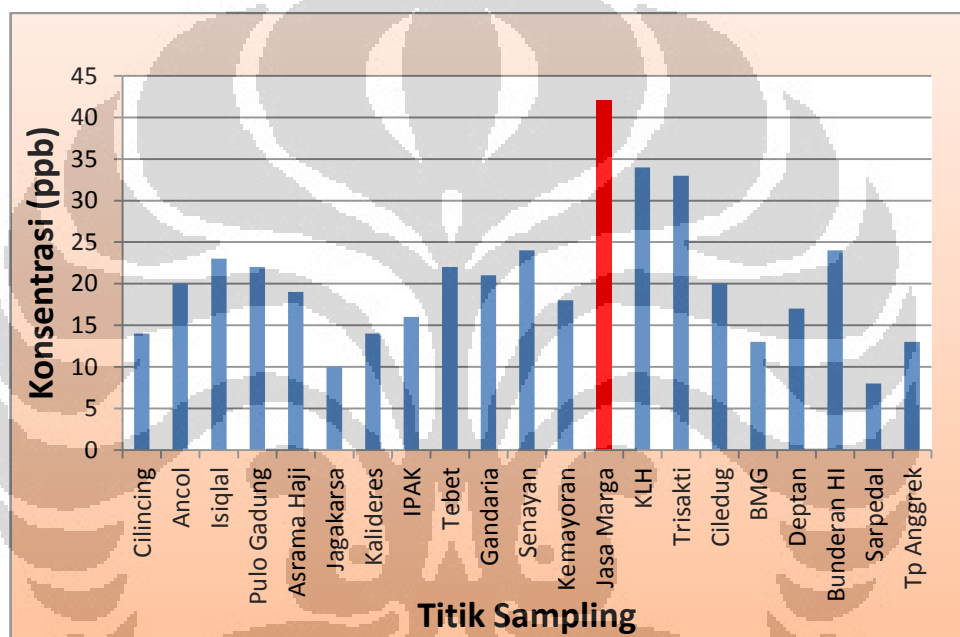
Reaksi [2.3] menggambarkan proses oksidasi NO menuju NO_2 dengan bantuan ozon (O_3). Di samping dengan bantuan ozon (O_3), oksidasi NO juga terjadi melalui bantuan oksidator lain seperti gugus radikal peroksil ($\text{ROO}\cdot$) atau radikal hidroperoksil ($\text{HOO}\cdot$) melalui reaksi berikut:



Reaksi-reaksi tersebut amat dipengaruhi oleh kehadiran sinar matahari. Sinar matahari menyebabkan senyawa-senyawa di udara menjadi sangat reaktif. Di samping sinar matahari, faktor meteorologis lain juga memiliki peranan yang besar di dalam pembentukan senyawa-senyawa di udara, seperti kelembaban dan juga angin.

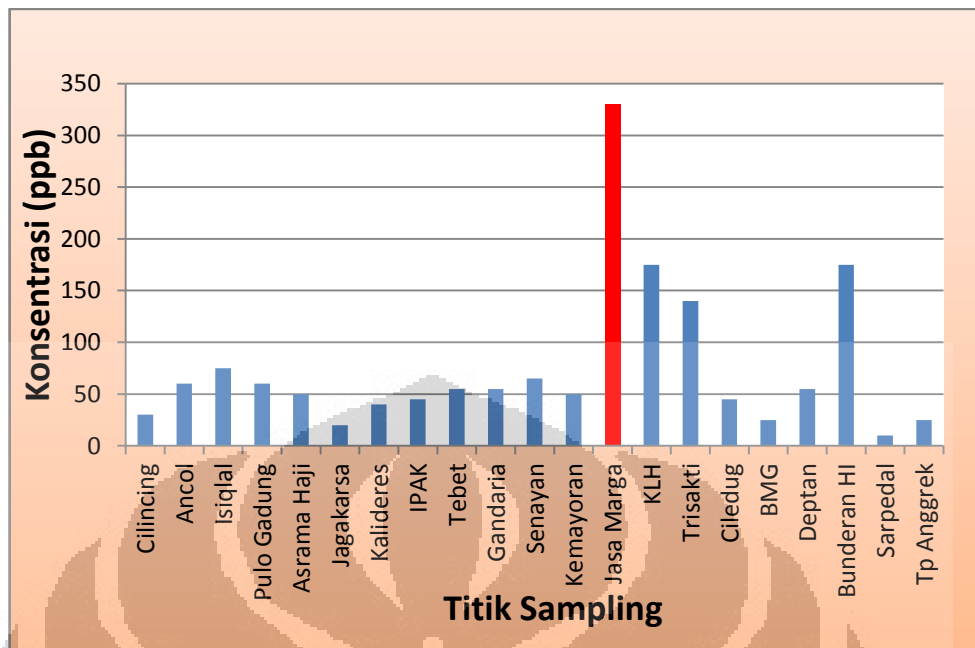
2.4.6 Data Eksisting di Jakarta dan Sekitarnya

Keberadaan pencemar NO_x yang merupakan sumber ancaman bagi produktivitas sebuah kota tentunya dapat dirasakan oleh berbagai kalangan. Karena itu Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2005 berinisiatif untuk melakukan pengambilan data di beberapa lokasi di area Jakarta dan sekitarnya guna mengetahui konsentrasi NO_x dan NO_2 . Dengan mengetahui data NO_x dan NO_2 diharapkan setiap pemerintah setempat dapat melakukan tindakan pengendalian yang tepat.



Gambar 2.2. Grafik Konsentrasi rata-rata Pengukuran NO_2 dari April 2004-Desember 2005

(Sumber: KLH, 2005)



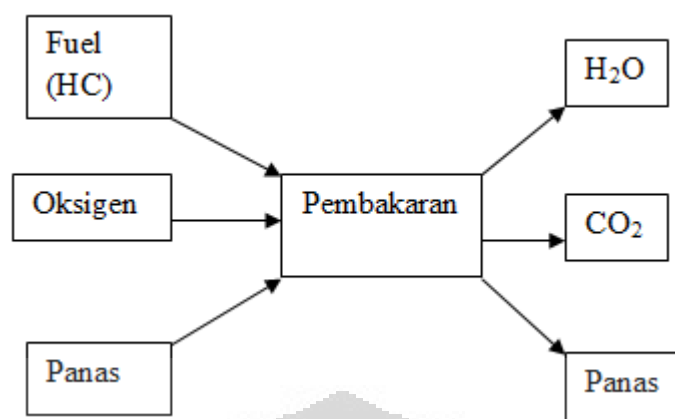
Gambar 2.3. Grafik Konsentrasi rata-rata Pengukuran NO_x dari April 2004-Desember 2005

(Sumber: KLH, 2005)

2.5 Polutan NO_x oleh Mesin Kendaraan Bermotor

Menurut Farnell (2006), pembakaran sempurna adalah hal yang mustahil untuk diperoleh dalam kondisi apapun. Sehingga gas yang diemisikan dari kendaraan pun bukan merupakan gas ideal yang seharusnya dikeluarkan sebagai hasil pembakaran sempurna. Terdapat lima gas yang harus dianalisa pada aliran buangan dari pembakaran internal mesin, yaitu HC, CO, NO_x , O_2 , dan CO_2 . HC, CO, dan NO_x merupakan gas berbahaya yang menjadi polusi udara, sedangkan O_2 merupakan gas yang baik yang menandakan tingkat efisiensi mesin.

Untuk melakukan pembakaran diperlukan HC yang terdapat di dalam bahan bakar. Keberadaan oksigen diperlukan di dalam proses pembakaran. Untuk menyalakan campuran udara dan bahan bakar di dalam silinder mesin diperlukan sumber panas. Setelah pembakaran terjadi, maka hasil yang seharusnya dikeluarkan sebagai dampak pembakaran adalah air (H_2O), karbondioksida (CO_2) dan panas. Panas ini akan diubah menjadi energi mesin dalam pembakaran internal.



Gambar 2.4. Diagram Pembakaran Sempurna

(Sumber: Farnell, 2006)

Dalam proses yang sebenarnya, mesin kendaraan menggunakan udara bebas sebagai campuran bahan bakar. Udara di alam bebas tidak hanya mengandung oksigen tetapi juga gas-gas lain yang didominasi oleh nitrogen sebesar 78%. Nitrogen dikenal sebagai gas inert (gas yang sulit bercampur dengan gas lain), tetapi karena panas yang sangat tinggi, nitrogen tersebut dapat bercampur dengan oksigen yang kemudian hasil pencampurannya membentuk NO_x . NO_x adalah polutan yang bila terkena cahaya matahari dan HC, akan membentuk asap. Sedangkan karbon monoksida (CO) yang diproduksi sebagai hasil dari pembakaran disebabkan oleh kurangnya oksigen yang tersisa saat proses pembakaran terjadi. Sehingga lebih banyak CO yang diproduksi dibandingkan dengan CO_2 . Hidrokarbon (HC) yang diemisikan merupakan sisa dari HC yang tidak terproses sempurna. Nitrogen dan oksigen bersatu pada suhu 2500°F (1371°C) menghasilkan NO.

Kecepatan reaksi pembentukan NO dalam mesin berbanding lurus dengan pertambahan temperatur. Manahan (2005), menjelaskan hasil reaksi pembentukan NO pada pembakaran mesin seperti di bawah ini:

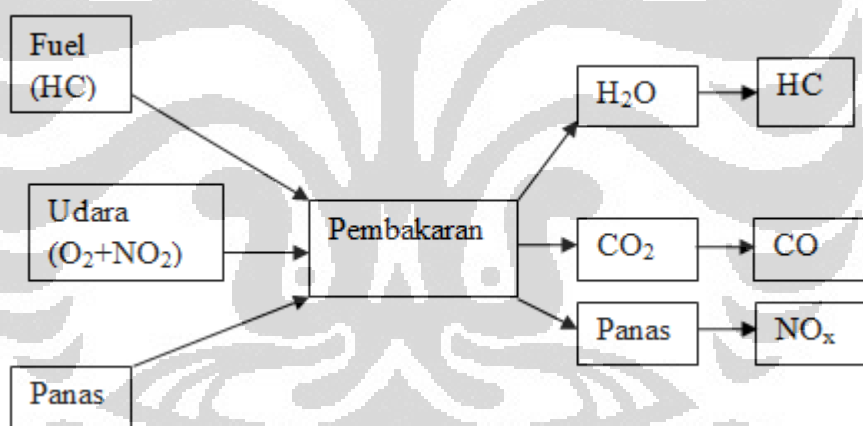


di mana M adalah energi panas yang memberikan energi yang cukup untuk memecah ikatan kimia molekul N_2 dan O_2 . Energi yang dibutuhkan untuk memecah ikatan oksigen adalah sebesar 118 kkal/mol dan untuk nitrogen adalah

sebesar 225 kkal/mol. Ikatan oksigen dan nitrogen yang telah terpecah tersebut akan bersatu di dalam reaksi sebagai berikut:



NO_2 terbentuk pada temperatur yang lebih rendah dan kaya akan konsentrasi HO_2 . Miller dan Browman (1989) menyatakan bahwa jumlah NO_2 relatif kecil bila dibandingkan dengan jumlah NO sebagai hasil pembakaran. Pembentukan NO_2 melalui reaksi sebagai berikut (Miller dan Browan, 1989):



Gambar 2.5. Diagram Pembakaran tidak Sempurna

(Sumber: Farnell, 2006)

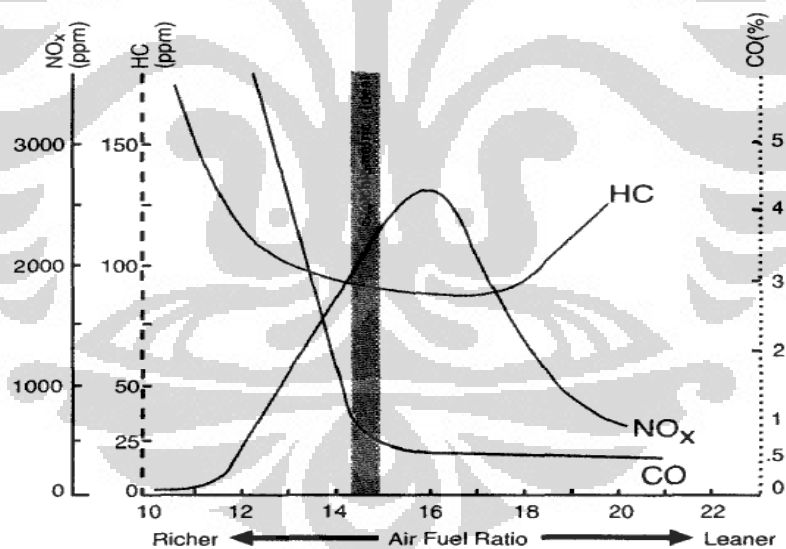
Di dalam pembakaran dikenal juga istilah *Air/Fuel Ratio (A/F ratio)*. Simbol ini digunakan untuk menggambarkan perbandingan rasio udara dan bahan bakar yang ada di dalam mesin saat pembakaran berlangsung. Jumlah udara dan bahan bakar yang bercampur akan menentukan komposisi dan jumlah gas pencemar yang terbentuk sebagai akibat dari proses pembakaran. *Air/Fuel Ratio* dapat berubah-ubah bergantung pada kecepatan mesin, temperatur, beban, dan kondisi lainnya.

Tabel 2.3. *A/F Ratio* pada berbagai Kondisi Kerja Mesin

Kondisi Kerja Mesin	Perbandingan Udara dan Bahan Bakar
Saat temperatur 0°C	Kira-kira 1:1
Saat temperatur 20°C	Kira-kira 5:1
Saat idling	Kira-kira 11:1
Putaran lambat	12-13:1
Akselerasi	Kira-kira 8:1
Putaran Max (beban penuh)	12-13:1
Putaran sedang (ekonomis)	16-18:1

Sumber: Sugiarto, 2005

Sugiarto (2005) menambahkan bahwa cara yang paling pasti untuk mendapatkan tenaga lebih pada suatu *engine* yaitu dengan meningkatkan jumlah pembakaran udara dan bahan bakar. Peningkatan jumlah udara dan bahan bakar dapat dilakukan dengan cara menambah silinder atau memperbesar ukuran silinder dari ukuran sebelumnya.



Gambar 2.6. Grafik A/F Ratio

(Sumber: www.autoshop101.com/forms/h55.pdf)

Seperti di gambar, pembentukan NO_x rendah pada saat *Air/Fuel ratio* besar (11,8:1) dan naik ketika rasio campuran gas mengecil. Produksi NO_x tertinggi pada range ratio 15-16:1. Sayangnya NO_x berada pada titik rasio tertinggi pada saat HC dan CO biasanya berada pada titik rasio yang lebih rendah. Maka

hal ini menjadi masalah saat pakar mesin mencoba untuk mengatur ketiga gas tersebut berada pada kadar terendah. Saat pencampurannya besar (*rich-mixture*), maka konsentrasi NO_x berkurang, sedangkan konsentrasi HC dan CO meningkat. Pada saat pencampuran sedikit atau kecil (*lean-mixture*), konsentrasi NO_x meningkat sedangkan konsentrasi HC dan CO mengecil.

2.6 Analisis Risiko

Terdapat tiga bahaya lingkungan yang mengancam kehidupan manusia yaitu zat kimia toksik, energi radiasi dan gelombang elektromagnetik, serta organisme patogen. Ketiga bahaya tersebut berdampak secara langsung terhadap kesehatan manusia dan menimbulkan risiko-risiko tertentu. Risiko kesehatan didefinisikan sebagai kebolehjadian kerusakan kesehatan seseorang yang disebabkan oleh pemajanan atau serangkaian pemajanan bahaya lingkungan (EPA, 1990). Risiko kesehatan merupakan dampak negatif yang hanya bisa dikelola tetapi tidak dapat dihilangkan.

Polutan NO_x dapat dikategorikan ke dalam bahaya yang pertama, yaitu kimia toksik. Dampak NO_x terhadap pemaparan memang tidak terlihat secara langsung dalam durasi pemaparan yang singkat. Oleh karena itu perlu diadakan sebuah analisis yang memastikan adakah pengaruh NO_2 di masa mendatang untuk orang yang terus-menerus mengalami paparan NO_2 . Analisis terhadap pencemar NO_x hanya dapat dilakukan terhadap NO_2 karena IRIS hanya mengeluarkan nilai RfC (dosis referensi pajanan) untuk NO_2 .

Tabel 2.4. Dosis-Respon (RfC, mg/kg/hari) Enam Agen Risiko Udara yang telah Tersedia untuk Karakterisasi Risiko Nonkarsinogenik

No	Agen Resiko	RfC	Efek Kritis dan Sumber Data (Referensi)
1	NH ₃	1x10 ⁻¹	kenaikan keparahan rintis dan pneumonia dengan lesi pernafasan pada uji hayati tikus subkronik
2	H ₂ S	2x10 ⁻³	Lesi nasal lendir olfaktori pada uji hayati tikus inhalasi subkronik
3	Pb	4,93x10 ⁻⁴	Perubahan tingkat enzim dan perkembangan perilaku neurologis (<i>neurobehavioral</i>) anak-anak
4	NO ₂	2x10 ⁻²	Gangguan saluran pernafasan
5	SO ₂	2,6x10 ⁻²	Gangguan saluran pernapasan
6	TSP	2,42	Gangguan saluran pernapasan

Sumber: IRIS, 2007

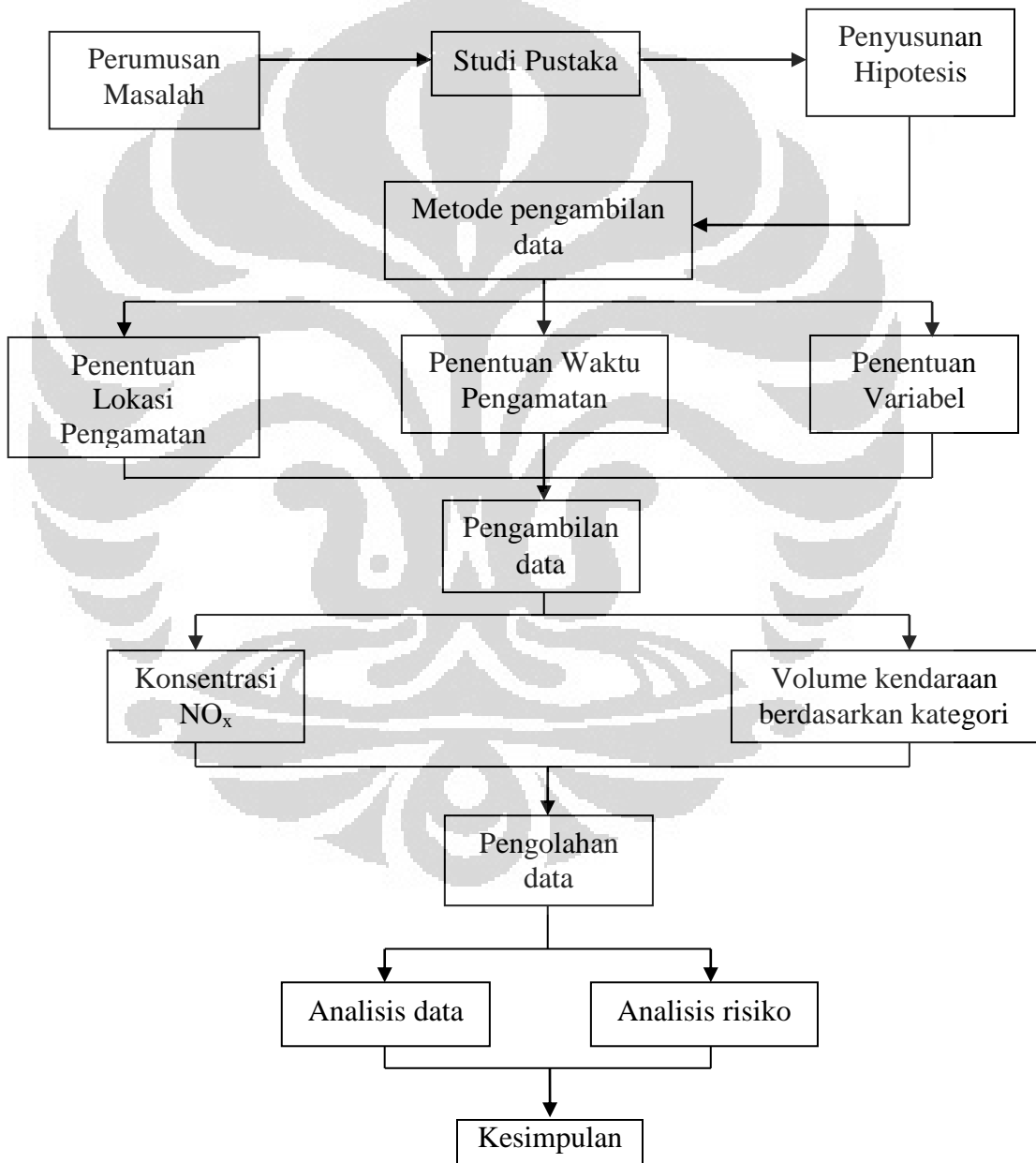
Louvar & Louvar (1998) dalam Rahman (2010), menyatakan bahwa analisis risiko merupakan suatu alat pengelolaan risiko, proses penilaian bersama para ilmuwan dan birokrat untuk memprakirakan peningkatan risiko kesehatan pada manusia yang terpajan masalah-masalah lingkungan dan kesehatan. Langkah-langkah analisis risiko oleh zat-zat toksik. Tujuannya adalah untuk menyediakan kerangka ilmiah guna membantu para pengambil keputusan dan para pemangku kepentingan (para legislator dan regulator, industri, dan warga negara yang peduli lainnya) dalam memecahkan persoalan yang dihadapi. Prosesnya dibagi ke dalam 4 tahapan:

1. identifikasi bahaya (*hazard identificaton*)
2. analisis dosis-respon (*dose-respone assessment*)
3. analisis pemajanan (*exposure assessment*)
4. karakteristik risiko

BAB 3

METODE PENELITIAN

Tingkat pencemaran di pintu tol tentu saja dipengaruhi oleh jumlah kendaraan yang memasuki jalan tol. Studi ini akan mengamati seberapa besar pengaruh volume kendaraan pada perubahan kualitas udara dengan adanya penambahan polutan NO_x di udara. Kemudian akan dilakukan analisis risiko untuk melihat dampak NO_2 terhadap kesehatan pekerja.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

(Sumber: Pengolahan Penulis, 2011)

3.1 Hipotesis Penelitian

- Konsentrasi NO_x pada Pintu Tol tidak melebihi baku mutu yang terdapat pada PP No.41 tahun 1999.
- Konsentrasi NO_x yang tertinggi terjadi pada saat volume kendaraan berada pada tingkat tertinggi.
- Risiko kesehatan pekerja pintu tol akibat paparan NO_2 dinyatakan ada dan perlu dikendalikan.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian atau pengambilan sampel dilakukan di Pintu Tol Cililitan cabang CTC (Cawang Tomang Cengkareng) dengan pertimbangan sebagai berikut:

- Gardu tol terdiri lebih dari satu. Banyaknya keberadaan gardu tol dapat dimanfaatkan untuk melakukan penelitian lebih dari satu lokasi, sehingga didapatkan variasi data yang dapat digunakan sebagai perbandingan dan alat untuk menyatakan bahwa data yang diperoleh mendekati kebenaran.
- Volume kendaraan melebihi rata-rata volume kendaraan di pintu tol lainnya, sehingga mengindikasikan tingkat pencemaran yang tinggi.



Gambar 3.2. Lokasi Penelitian

(Sumber: Peta Digital, 2009)

3.3 Populasi dan Sampel Penelitian

3.3.1 Populasi dan Sampel Kendaraan

Populasi dari penelitian ini yaitu jumlah kendaraan yang melintas di pintu Tol Cililitan cabang CTC dalam 24 jam. Sampel yang diambil yaitu semua kendaraan yang melintas pada pukul 06.00-13.00 pada gardu yang telah ditentukan. Kendaraan dibagi menjadi 3 kategori berdasarkan Kepmen No.05 tahun 2006 yaitu kategori M, N, dan O yang dihitung dalam satuan mobil penumpang.

3.3.2 Sampel Pencemar Udara

Sampel pencemar udara yang digunakan adalah NO dan NO₂ yang tergolong sebagai NO_x. Pengambilan sampel dilakukan di dua gardu tol yaitu no. 13 dan 14 Pintu Tol Cililitan 2. Untuk analisis risiko menggunakan data NO₂ karena *Integrated Risk Information System* (IRIS) hanya mengeluarkan dosis referensi pajanan (RfC) untuk parameter NO₂.

3.4 Variabel

Variabel yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 1 variabel terikat yang didefinisikan sebagai Y dan 5 variabel bebas yang dinotasikan sebagai X₁, X₂, X₃, X₄, dan X₅. Variabel X adalah jumlah kendaraan dalam satuan SMP yang melintasi pintu tol. Kendaraan terbagi menjadi 3 kategori yaitu M, N, dan O (berdasarkan pada KepMen LH No. 5 tahun 2006) dan kemudian untuk golongan M dan N dibagi lagi dalam kategori jenis mesinnya, yaitu bensin dan diesel.

Jumlah kendaraan yang masuk berdasarkan kategori akan dihitung berdasarkan jumlahnya, kemudian dikalikan dengan SMP. Bilangan hasil pengalihan tersebut didefinisikan sebagai X. Variabel Y adalah konsentrasi NO_x (NO dan NO₂) di udara ambien berdasarkan rentang waktu pengukuran yang telah ditetapkan.

Keterangan:

M: kendaraan beroda 4 atau lebih untuk mengangkut orang

N: kendaraan beroda 4 atau lebih untuk mengangkut barang

O: kendaraan bermotor penarik untuk gandengan atau tempel

(contoh: truk gandeng)

3.5 Metode Pengambilan Sampel

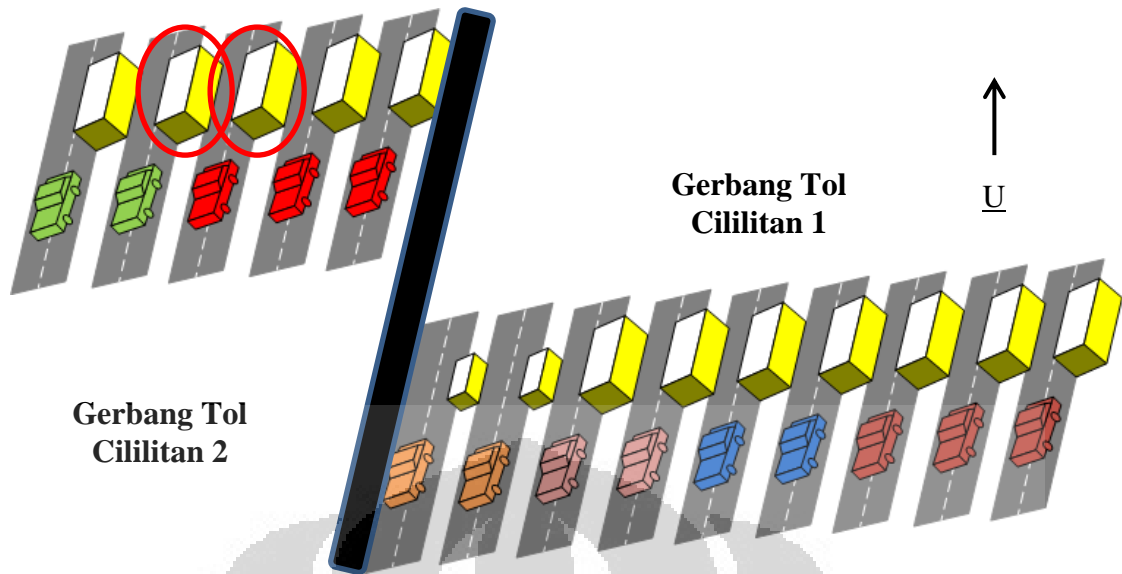
Data yang diperoleh melalui pengukuran ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer berupa semua data yang diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan yaitu berupa jumlah kendaraan (SMP/jam) dan konsentrasi NO_x pada setiap jam pengukuran. Sedangkan data sekunder merupakan data hasil pengukuran yang telah dilakukan oleh pihak pengelola jalan tol, data tersebut digunakan sebagai perbandingan. Pengumpulan sampel untuk data primer menggunakan sistem *accidental sampling* yang tergolong dalam *nonprobability sampling* karena setiap kendaraan yang masuk perjamnya akan dimasukkan dalam perhitungan.

3.5.1 Pengukuran Volume Kendaraan

Pengukuran volume kendaraan dilakukan secara manual menggunakan kertas dan alat tulis. Pengukuran jumlah kendaraan bukanlah hal yang sulit karena setiap kendaraan dikondisikan berhenti saat proses transaksi tiket.

Pengambilan sampel dilakukan bersamaan dengan 1 shift kerja pengumpul tol. Di dalam 1 shift pagi terdapat 3 kondisi umum lalu lintas di perkotaan. Dimulai dengan jam yang paling dipadati oleh kendaraan, yaitu pukul 06.00-08.00, lalu pada saat jumlah kendaraan berangsur mulai berkurang, yaitu pada jam 08.00-11.00, dan pada jam menuju makan siang sampai selesai makan siang yaitu pukul 11.00-13.00 di mana cenderung jalan menjadi sepi karena kebanyakan orang berada di rumah makan.

Pengambilan sampel dilakukan di dua gardu pembelian tiket yang dilayani oleh para pekerja pengumpul tol (bukan loket pembelian secara otomatis dengan menggunakan *e-card*). Kedua gardu yang menjadi lokasi pengambilan sampel yaitu gardu yang berada pada urutan kedua dari bahu kiri tol dan gardu pada urutan ketiga (di bagian tengah). Pengambilan sampel dilakukan setiap 1 jam.



Gambar 3.3. Gardu Pengumpul Tol

(Sumber: Pengolahan Penulis, 2011)

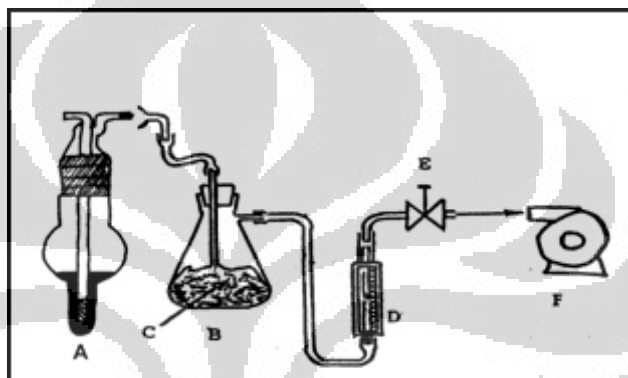


Gambar 3.4. Lokasi Pengambilan Sampel Udara

(Sumber: Dokumentasi Lapangan, 2011)

3.5.2 Pengukuran Konsentrasi NO_x

Pengambilan data menggunakan metode Griess Saltzman sesuai dengan SNI 19-7119.2-2005. Alat yang digunakan bernama *impinger*. Alat ini diletakkan di bagian belakang gardu transaksi dengan ketinggian $\pm 1,5$ m (ketinggian hidung pekerja pengumpul tol dari jalan). Alat ini selain digunakan untuk pengambilan gas NO_x juga untuk SO_x dan NH₃. Untuk memastikan alat hanya menyerap NO_x maka digunakan larutan penjerap NaNO₂ dan pengaturan laju aliran udara sebesar 0,4 L/menit.



Gambar 3.5. Rangkaian Alat Impinger

(Sumber: SNI 19-7119.2-2005)

- | | |
|---|---|
| A adalah botol penjerap (<i>fritted bubbler</i>); | D adalah <i>flow meter</i> yang dapat mengukur laju alir 0,4 L/menit; |
| B adalah perangkap uap (<i>mist trap</i>); | E adalah kran pengatur; |
| C adalah arang aktif atau <i>soda lime</i> ; | F adalah pompa. |

3.5.3 Pengukuran Analisis Risiko

Data yang dibutuhkan untuk melakukan analisis risiko adalah berupa data waktu kerja dan berat badan. Waktu kerja untuk shift pagi telah ditetapkan oleh PT. JasaMarga, yaitu 8 jam dimulai pukul 05.00-13.00. Namun pengukuran dimulai dari pukul 06.00 dengan asumsi pukul 05.00-06.00 kendaraan yang melewati pintu tol masih sangat sedikit. Untuk data berat badan dilakukan dengan estimasi berat badan pekerja yang bekerja saat pengambilan sampel. Karena sifatnya estimasi maka akan dilakukan perhitungan dengan beberapa waktu kerja dan angka berat badan.

3.6 Waktu Pengambilan Sampel Udara

Pengambilan sampel dilangsungkan selama 4 hari dengan komposisi 2 hari kerja dan 2 hari libur. Komposisi ini dilakukan mewakili hari libur dan hari kerja dengan asumsi pada hari kerja volume kendaraan lebih tinggi dibanding pada hari libur. Dengan komposisi ini diharapkan perolehan data yang variatif. Pengambilan sampel dilakukan selama 7 jam terhitung pukul 06.00-13.00 (satu *shift* pekerja).

Tabel 3.1. Jadwal Pengambilan Sampel

Gardu Tol	Hari Kerja	Hari Libur
Gardu Tol 13	Rabu, 6 April 2011	Sabtu, 12 Maret 2011
Gardu Tol 14	Rabu, 27 April 2011	Sabtu, 23 April 2011

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

3.7 Metode Pengolahan Data

3.7.1 Uji Korelasi Volume Kendaraan terhadap Konsentrasi NO_x

Data-data yang telah didapat diolah dan dianalisa dengan teknik-teknik tertentu. Data kuantitatif diolah dengan menggunakan teknik analisis kuantitatif. Pengolahan data dapat dilakukan dengan manual atau melalui proses komputerisasi. Pengolahan data dilakukan dengan cara perhitungan regresi linier sederhana dan regresi linier berganda untuk mengetahui besarnya pengaruh nilai X terhadap nilai Y.

3.7.1.1 Uji Korelasi antara Jenis Mesin Kendaraan dengan Konsentrasi NO_x

Setiap jenis kendaraan akan mengemisikan jumlah polutan yang berbeda. Setiap jenis mesin didesain dengan perbedaan kompresi, perbedaan silinder, perbedaan *Air/Fuel ratio*, dll 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_x, maka perlu dilakukan perhitungan regresi linier berganda 2.

Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \quad [3.1]$$

Dimana :

y : konsentrasi NO atau NO₂ (µg/m³)

X_1 : kendaraan dengan mesin bensin (SMP)

X_2 : kendaraan dengan mesin diesel (SMP)

Untuk nilai a , b_1 , dan b_2 didapat dengan menyelesaikan persamaan berikut:

$$na + b_1 \Sigma X_1 + b_2 \Sigma X_2 = \Sigma Y \quad [3.2]$$

$$a \Sigma X_1 + b_1 \Sigma X_1^2 + b_2 \Sigma X_1 X_2 = \Sigma X_1 y \quad [3.3]$$

$$a \Sigma X_2 + b_1 \Sigma X_1 X_2 + b_2 \Sigma X_2^2 = \Sigma X_2 y \quad [3.4]$$

Koefisien b_1 merupakan nilai koefisien kendaraan bermesin bensin dan koefisien b_2 merupakan nilai koefisien kendaraan bermesin diesel, sedangkan koefisien a merupakan konstanta. Dan untuk mengetahui kuat hubungan antara jenis kendaraan dengan konsentrasi NO_x dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$JKG = \Sigma y^2 - a \Sigma y - b_1 \Sigma x_1 y - b_2 \Sigma x_2 y \quad [3.5]$$

$$s^2 y = \frac{n \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2}{n(n-1)} \quad [3.6]$$

$$R^2 = 1 - \frac{JKG}{(n-1)s^2 y} \quad [3.7]$$

$$r = \sqrt{R^2} \quad [3.8]$$

Koefisien determinasi (R^2) dapat digunakan untuk melihat besarnya kontribusi X terhadap nilai Y, dinyatakan dalam persen (%).

Berikut adalah nilai korelasi (r) dan keterangannya:

- 0 : Tidak ada korelasi antara dua variabel
- 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

3.7.1.2 Uji Korelasi antara Golongan Kendaraan dengan Konsentrasi NO_x

Pada prinsipnya uji korelasi ini sama dengan uji korelasi jenis kendaraan terhadap konsentrasi NO_x . Perbedaannya hanya terletak pada variabel X, di mana pada uji korelasi ini akan dilihat korelasi dan kontribusi masing-masing golongan

terhadap konsentrasi NO_x di udara ambien. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y = a \pm b_1X_1 \pm b_2X_2 \pm b_3X_3 \pm b_4X_4 \pm b_5X_5 \quad [3.9]$$

Di mana,

Y: konsentrasi NO atau NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

X_1 : jumlah kendaraan kategori M bermesin bensin M(B)

X_2 : jumlah kendaraan kategori M bermesin diesel M(D)

X_3 : jumlah kendaraan kategori N bermesin bensin N(B)

X_4 : jumlah kendaraan kategori N bermesin diesel N(S)

X_5 : jumlah kendaraan kategori O

*seluruh kendaraan memiliki satuan SMP

Untuk nilai a, b_1 dan b_2 , b_3 , b_4 , dan b_5 didapat dengan menyelesaikan persamaan berikut:

$$\sum Y = an + b_1\sum X_1 + b_2\sum X_2 + b_3\sum X_3 + b_4\sum X_4 + b_5\sum X_5 \quad [3.10]$$

$$\sum X_1Y = a\sum X_1 + b_1\sum X_1^2 + b_2\sum X_1X_2 + b_3\sum X_1X_3 + b_4\sum X_1X_4 + b_5\sum X_1X_5 \quad [3.11]$$

$$\sum X_2Y = a\sum X_2 + b_1\sum X_2X_1 + b_2\sum X_2^2 + b_3\sum X_2X_3 + b_4\sum X_2X_4 + b_5\sum X_2X_5 \quad [3.12]$$

$$\sum X_3Y = a\sum X_3 + b_1\sum X_1X_3 + b_2\sum X_2X_3 + b_3\sum X_3^2 + b_4\sum X_3X_4 + b_5\sum X_3X_5 \quad [3.13]$$

$$\sum X_4Y = a\sum X_4 + b_1\sum X_1X_4 + b_2\sum X_2X_4 + b_3\sum X_3X_4 + b_4\sum X_4^2 + b_5\sum X_4X_5 \quad [3.14]$$

$$\sum X_5Y = a\sum X_5 + b_1\sum X_1X_5 + b_2\sum X_2X_5 + b_3\sum X_3X_5 + b_4\sum X_4X_5 + b_5\sum X_5^2 \quad [3.15]$$

Koefisien b_1 merupakan nilai koefisien kendaraan kategori M bermesin bensin, koefisien b_2 merupakan nilai koefisien kendaraan kategori M bermesin diesel, koefisien b_3 merupakan nilai koefisien kategori N bermesin bensin, koefisien b_4 merupakan nilai koefisien kategori N bermesin diesel, koefisien b_5 merupakan nilai koefisien kendaraan kategori O, dan koefisien a merupakan nilai koefisien konstanta.

Dan untuk mengetahui kuat hubungan antara jenis kendaraan dengan konsentrasi NO_x dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$JKG = \sum y^2 - a\sum y - b_1\sum x_1y - b_2\sum x_2y - b_3\sum x_3y - b_4\sum x_4y - b_5\sum x_5y \quad [3.16]$$

$$s^2_y = \frac{n\sum y^2 - (\sum y)^2}{n(n-1)} \quad [3.17]$$

$$R^2 = 1 - \frac{JKG}{(n-1)s^2y} \quad [3.18]$$

$$r = \sqrt{R^2} \quad [3.19]$$

Di samping menggunakan perhitungan regresi linier berganda, untuk melihat korelasi antar golongan kendaraan dengan konsentrasi NO_x, dapat juga digunakan persamaan fluktuasi grafik. Ketentuannya adalah sebagai berikut:

a. Simbol +

Simbol ini menandakan terjadinya kenaikan konsentrasi NO/NO₂ disertai dengan kenaikan volume kendaraan atau terjadinya penurunan konsentrasi NO/NO₂ disertai dengan penurunan volume kendaraan.

b. Simbol –

Simbol ini menandakan terjadinya kenaikan konsentrasi NO/NO₂ disertai dengan penurunan volume kendaraan atau terjadinya penurunan konsentrasi NO/NO₂ disertai dengan kenaikan volume kendaraan.

3.7.1.3 Uji Korelasi antara Total Kendaraan dengan Konsentrasi NO_x

Untuk mengetahui hubungan antara keseluruhan volume kendaraan dengan konsentrasi NO dan NO₂ di udara maka dapat dilakukan perhitungan regresi linier sederhana. Pengolahan ini dilakukan dengan menjumlahkan seluruh jenis kendaraan yang terhitung dalam 1 jam dan mengaitkannya dengan konsentrasi NO atau NO₂ pada jam tersebut. Karena itu hanya akan ditemukan 1 variabel X, yaitu jumlah kendaraan (SMP), sedangkan variabel Y terdiri dari NO dan NO₂. Persamaan yang digunakan untuk regresi linier sederhana adalah sebagai berikut:

$$Y = a \pm bX \quad [3.20]$$

Di mana,

Y : konsentrasi NO atau NO₂ (µg/m³)

X : jumlah kendaraan (SMP)

Nilai a dan nilai b dapat dicari melalui perhitungan sebagai berikut:

$$b = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad [3.21]$$

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad [3.22]$$

Untuk melihat seberapa kuat hubungan variabel X terhadap variabel Y, digunakan persamaan sebagai berikut:

Koefisien Korelasi

$$r(x,y) = \frac{\partial xy}{\partial x \partial y} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad [3.33]$$

3.7.2 Pengolahan Data Konsentrasi NO_x

Pengolahan data menggunakan metode Griess Saltzman sesuai dengan SNI 19-7119.2-2005. Alat yang digunakan adalah *impinger*. Pengolahan data terlampir di lampiran.

3.7.3 Pengolahan Analisis Risiko

3.7.3.1 Karakteristik Risiko

Karakteristik risiko kesehatan dinyatakan sebagai *Risk Quotient* (RQ, tingkat risiko) untuk efek-efek nonkarsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk efek-efek karsinogenik. NO_x termasuk berdasarkan golongan nonkarsinogenik. RQ dihitung dengan membagi asupan nonkarsinogenik (I_{nk}) setiap agen risiko dengan dosis referensinya (RfD atau RfC). RfD adalah toksisitas kuantitatif nonkarsinogenik, menyatakan estimasi dosis pajanan harian yang diperkirakan tidak menimbulkan efek merugikan kesehatan meskipun pajanan itu berlanjut sepanjang hayat (IPCS, 2004).

Dosis referensi dibedakan untuk pajanan oral (ingesti, makanan, dan minuman) yang disebut RfD dan untuk pajanan inhalasi (udara) yang disebut RfC. RfD dan RfC dinyatakan dalam mg agen risiko per kg berat badan per hari (mg/kg/hari).

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfD \text{ atau } RfC} \quad [3.34]$$

Baik I_{nk} maupun RfD harus spesifik untuk bentuk spesi kimia agen risiko dan media lingkungan tertentu. Misalnya, RfD TEL (*tetraethyl lead*) hanya digunakan untuk menghitung RQ TEL, sedangkan RQ Pb total tidak bisa dihitung memakai RfD TEL karena nilai kedua RfD itu berbeda. Sedangkan nilai RfC untuk NO₂ adalah 0,02. Risiko kesehatan dinyatakan ada dan perlu dikendalikan jika $RQ > 1$. Jika $RQ \leq 1$, risiko tidak perlu dikendalikan tetapi segala kondisi perlu dipertahankan agar nilai numerik RQ tidak melebihi 1.

3.7.3.2 Perhitungan Asupan (*Intake*)

Asupan setiap agen risiko (I_{nk} dan I_k) harus dihitung untuk semua jalur pemajanan menurut karakteristik antropometri dan pola aktivitas populasi berisiko menggunakan persamaan yang tersedia sebagai rumus generik yang berlaku umum untuk seluruh pajanan (ATSDR, 2005).

$$I_{nk} = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \quad [3.35]$$

Definisi Operasional Variabel

1. Laju Inhalasi (R) adalah volume udara yang dihirup per satuan waktu. Nilai R yang digunakan dalam penelitian ini adalah $0,83 \text{ m}^3/\text{jam}$ untuk inhalasi orang dewasa berdasarkan nilai *default Exposure Factor US EPA* (Rahman, 2010).
Cara pengukuran : pengambilan data sekunder dari PT. Jasa Marga, Tbk
Satuan : jam/hari
2. Waktu pajanan (t_E) adalah periode waktu pekerja berisiko terpajan oleh NO_2 dihitung berdasarkan jumlah jam kerja pekerja pintu tol dalam satu hari.
Cara pengukuran : pengambilan data sekunder dari PT. Jasa Marga, Tbk
Satuan : jam/hari
3. Frekuensi pajanan (f_E) adalah kekerapan pekerja terpajan oleh NO_2 berdasarkan jumlah hari kerja pekerja dalam satu tahun.
Cara pengukuran : pengambilan data sekunder dari PT. Jasa Marga, Tbk
Satuan : hari/tahun
4. Durasi pajanan (D_t) adalah lamanya waktu terpajan seorang oleh NO_2 di lokasi penelitian berdasarkan pajanan sebenarnya (*real time*) dan pajanan sepanjang hayat (*life time*) selama 30 tahun.
5. Berat badan (W_b) adalah massa tubuh populasi berisiko pada saat penelitian.
Cara pengukuran : penimbangan langsung
Alat ukur : timbangan
Satuan : kilogram

6. Periode rata-rata dalam skala tahun (t_{avg}) adalah angka *default* untuk periode waktu rata-rata. Pencemar nonkarsinogenik memiliki angka 365 hari/tahun, mengacu pada faktor-faktor pemajanan Amerika (Rahman, 2010).
7. *Intake*/Asupan adalah jumlah asupan *risk agent* yang diterima individu per berat badan per hari dan merupakan variabel terikat.
Satuan : mg/kg/hari
8. *RfC* (*Reference Concentration*) adalah estimasi pajanan harian yang diperkirakan tidak menimbulkan efek merugikan kesehatan meskipun pajanan itu berlanjut sepanjang hayat (IPCS, 2004). Untuk NO_2 , *RfC* yang digunakan adalah 0,02 mg/kg/hr yang merupakan ketentuan EPA/NAAQS tahun 1990.
9. Tingkat Risiko (RQ) adalah besaran risiko kesehatan non karsinogen pada pekerja yang diakibatkan oleh pajanan NO_2 . Nilai ini dipengaruhi oleh *reference concentration* NO_2 dan nilai intake (asupan) NO_2 masing-masing individu.
10. Konsentrasi *agen risiko* (C), mg/M^3 untuk medium udara.

BAB 4

GAMBARAN UMUM

4.1 Lokasi penelitian

Gerbang Tol Cililitan cabang Cawang-Tomang-Cengkareng terletak pada kelurahan Cililitan yang berlokasi di Jakarta Timur. Secara administratif wilayah Cililitan terdiri atas 10 kecamatan dan 65 kelurahan. Jakarta Timur memiliki wilayah seluas 187,73 km² dengan kepadatan mencapai 10.445 jiwa per km².

Daerah ini sepanjang tahun selalu beriklim panas dengan suhu rata-rata sepanjang tahun sekitar 27°C dan curah hujan rata-rata 2.000 mm pertahun (<http://www.bappedajakarta.go.id>). Kelurahan Cililitan termasuk ke dalam Kecamatan Kramat Jati di samping 6 kelurahan lainnya yaitu Cawang, Cililitan, Kramat Jati, Batu Ampar, Balekambang, Dukuh, dan Tengah. Luas wilayah kelurahan ini mencapai 1,8 km².



Gambar 4.1. Lokasi Penelitian

(Sumber: Peta Digital 2009)

Gerbang tol Cililitan menjadi pintu masuk bagi kendaraan beroda empat atau lebih yang akan melintasi ruas jalan tol Cawang sampai menuju Cengkareng. Gerbang tol ini berbatasan dengan Jl. Cililitan Besar di sebelah utara, Jl. Jaya Kusuma Raya di sebelah timur, kantor PT. Jasa Marga di sebelah barat, dan

kelurahan Kramat Jati di sebelah selatan. PT. Jasa Marga cabang Cawang-Tomang-Cengkareng terletak di Plaza Tol Cililitan, Jl. Cililitan Besar, Jakarta Timur.

Ruas jalan tol Cawang-Tomang-Cengkareng terletak pada dua wilayah provinsi yaitu wilayah provinsi DKI Jakarta dan provinsi Banten, dan membentang melewati lima wilayah administratif kabupaten/kota, yaitu Kodya Jakarta Timur, Kodya Jakarta Selatan, Kodya Jakarta Pusat, Kodya Jakarta Barat, Kodya Jakarta Utara, dan Kota Tangerang. Jalan tol bermula dari gerbang tol Halim Utama (1) dan berakhir pada gerbang tol Cengkareng. Tahap pembangunan jalan tol Cawang-Tomang-Cengkareng ini dimulai sejak tahun 1986, di mana pada awalnya cabang CTC ini merupakan gabungan cabang Cengkareng, ruas Semanggi-Bekasi dan ruas Cawang-Grogol. Kemudian pada tanggal 1 Juli 1992 terjadi penggabungan antara ruas Cengkareng dengan Cawang-Grogol yang disebut jalan tol CTC.

Tabel 4.1. Deskripsi Jalan Tol Cawang-Tomang-Cengkareng

ITEM	KETERANGAN
Cawang-Tomang-Cengkareng	
Jalan	
a. Panjang perkerasan	79.970 m
b. Luas perkerasan	1.04 5.084,50 m ²
c. Luas bahu jalan	329.283 m ²
d. <i>On/Off Ramp</i>	41
e. Jalan Layang (ruas Grogol-Pluit)	2.700 m
Jembatan	
a. <i>Interchange</i> (Simpang Susun)	4 lokasi
b. <i>Fly Over</i> (Tidak termasuk Grogol-Pluit)	8 lokasi
c. <i>Overpass</i>	11 lokasi
d. <i>Underpass</i>	11 lokasi
e. Jembatan Penyeberangan Orang	33 lokasi
Lanskap Jalan Tol	
a. Luas Areal PotongRumput	980.057 m ²
b. Jumlah tanaman	63.291 Pot/Pohon
c. Jumlah Border/Perdu	68.301 m/m ²

Sumber: Data Sekunder PT. Jasa Marga cabang Cawang-Tomang-Cengkareng

4.2 Volume Kendaraan yang Melintas di Sepanjang Jalan Tol CTC

Volume kendaraan menurut jenis dan pintu tol pada bulan Juli s/d September 2010 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2. Jumlah Kendaraan berdasarkan Golongan 1-5

No	PINTU TOL	TRANSAKSI GOLONGAN KENDARAAN					
		Gol.1	Gol.2	Gol.3	Gol.4	Gol.5	Total
1	Cililitan	5.458.701	298.332	110.230	38.325	29.336	5.934.954
2	Halim	4.360.279	597.405	155.478	45.482	28.254	5.186.898
3	Cawang	759.435	26.880	4.336	313	291	791.255
4	Tebet 1	755.367	14.107	1.581	129	134	771.318
5	Tebet 2	731.419	9.386	1.611	608	283	743.307
6	Kuningan 1	437.588	4.797	492	53	99	443.029
7	Kuningan 2	1.108.613	8.501	3.068	716	463	1.121.361
8	Semanggi 1	1.017.111	4.449	431	116	39	1.022.146
9	Semanggi 2	409.006	962	112	47	11	410.138
10	Senayan	1.053.928	1.115	191	46	99	1.055.240
11	Pejompongan	615.210	24.669	2.222	521	84	642.706
12	Slipi 1	1.035.928	23.407	3.737	1.783	435	1.065.290
13	Slipi 2	644.499	19.828	5.825	1.478	3.993	675.083
14	Tomang	2.131.356	471.653	170.160	99.847	72.356	2.945.372
15	Tanjung Duren	907.096	33.242	5.313	1.381	130	947.162
16	Jelambar 1	1.034.268	17.142	3.305	1.093	677	1.056.485
17	Jelambar 2	329.882	21.130	2.797	311	157	354.277
18	Angke 1	583.365	65.913	12.202	22.615	8.282	692.377
19	Angke 2	276.186	66.263	13.919	2.307	1.343	360.018
Total Cawang-Tomang-Pluit		23.649.098	1.709.181	496.470	217.171	146.496	26.218.416
20	Citra-Marga (CMNP)	18.689.395	1.038.653	281.134	208.897	128.792	20.346.871
Total Lingkar Dalam Kota		42.338.493	2.747.834	777.604	426.068	275.288	46.565.287
21	Kapuk	5.007.203	256.668	41.783	22.991	11.155	5.339.820
22	Pluit 3	1.494.998	56.634	11.005	2.099	953	1.565.689
23	Kamal 1	1.462.883	164.522	51.785	21.739	11.054	1.711.983
24	Cengkareng	5.123.130	169.722	16.054	5.811	3.681	5.318.398
25	Kamal 2	273.824	7.452	603	63	41	281.983
26	Kamal 3	359.846	8.757	1.597	171	129	370.500
Total Sedyatmo		13.721.884	663.775	122.827	52.874	27.013	14.588.873
Total CTC		37.370.982	2.372.956	619.297	270.045	173.509	40.086.789

Sumber: Laporan triwulan PT Jasa Marga Cabang CTC tahun 2010
(Juli s/d September 2010)

Dari tabel di atas diketahui bahwa pintu tol terpadat adalah pintu tol Cililitan dengan volume kendaraan pada bulan Juli s/d September 2010 tercatat sebesar 5.934.954 kendaraan dan lalu lintas harian rata-rata sebesar 64.510,37 kendaraan. Volume kendaraan yang padat harus diseimbangkan dengan waktu transaksi yang

cepat. Kemacetan di pintu tol tidak dapat dihindari pada jam-jam tertentu akibat banyaknya jumlah kendaraan yang harus dilayani oleh petugas.

Tabel 4.3. Strategi Transaksi pada Gardu Tol

Strategi	Tolok Ukur
❖ Kecepatan Transaksi Rata-rata Gardu Tol	4,82 detik setiap kendaraan
❖ Jumlah Kapasitas Gardu Tol	750 kendaraan per jam per gardu

Sumber: Evaluasi Implementasi RKL dan RPL Jalan Tol Cawang Tomang Cengkareng Semester II Tahun 2010 hlm.54

4.3 Kondisi Eksisting Gerbang Tol Cililitan

Jumlah Gerbang Tol yang dikelola oleh Jasa Marga cabang Cawang Tomang Cengkareng (CTC) adalah sebanyak 28 gerbang dengan total jumlah gardu sebanyak 117 buah. Adapun nama gerbang-gerbang tersebut adalah Cawang, Tebet 1, Tebet 2, Kuningan 1, Kuningan 2, Cililitan 1, Cililitan 2, Halim 1, Halim 2, Semanggi 1, Semanggi 2, Pejompongan, Senayan, Tj. Duren, Slipi 1, Slipi 2, Jelambar 1, Jelambar 2, Angke 1, Angke 2, Tomang, Kapuk, Pluit 3, Kamal 1, Kamal 2, Kamal 3, Cengkareng 1, dan Cengkareng 2.

Cililitan sendiri terbagi menjadi 2, yaitu Cililitan 1 dan Cililitan 2. Gerbang tol Cililitan 2 dibuat karena semakin tingginya volume kendaraan yang melintasi gerbang tol Cililitan dari tahun ke tahun. Gardu Cililitan (sekarang bernama Cililitan 1) pada awalnya berjumlah 10 gardu, namun 2 buah gardu yang terletak paling kiri telah diratakan untuk menjadi akses menuju gerbang tol Cililitan 2 yang berjarak \pm 100 m dari gerbang tol Cililitan 1 tersebut. Pada gerbang tol Cililitan 1 kemudian dibangun kembali 1 gardu otomatis, sehingga sekarang ini diisi dengan 7 gardu manual dan 2 gardu otomatis (*e-toll*). Gardu manual diisi oleh pekerja pengumpul tol yang melakukan transaksi dengan pengendara, sedangkan pintu otomatis dilengkapi dengan sebuah mesin untuk proses *scanning* kartu pengendara, sehingga transaksi tidak perlu dilakukan oleh pekerja, cukup diwakilkan dengan mesin.

Pada gerbang tol Cililitan 2 tersedia 5 buah gardu tol yang semuanya diisi oleh pekerja pengumpul tol. Gardu pada gerbang tol Cililitan 2 terhitung dari gardu no. 12, 13, 14, 15, dan 16. Pengambilan sampel udara dilakukan pada gardu no. 13 dan no. 14. Gardu no. 13 merupakan gardu dengan urutan kedua dari sisi kiri bahu

jalan, sedangkan gardu no. 14 merupakan gardu dengan urutan yang ketiga atau yang berada tepat di tengah. Pemilihan gardu pengambilan sampel diasumsikan adanya perbedaan jumlah volume kendaraan antara gardu bagian pinggir dan tengah.

Kecenderungan yang terjadi adalah pengemudi lebih memilih untuk berjalan lurus dibandingkan berbelok untuk mencapai gardu yang berada di bagian tepi jalan. Sehingga pemilihan kedua titik ini digunakan untuk membandingkan volume kendaraan yang lebih besar dan yang lebih kecil yang kemudian dikaitkan dengan konsentrasi pencemar NO_x pada titik pengambilan tersebut.

Pengambilan sampel tidak dilakukan pada bagian gardu yang paling pinggir yaitu gardu no. 12 karena gardu tersebut tidak selalu dibuka dari pagi hari, sehingga pengambilan sampel tidak dapat dilakukan. Jam buka gardu tersebut disesuaikan dengan dinamika jumlah kendaraan yang melintasi gerbang tol ini. Gardu no.12 ini biasanya mulai dibuka antara pukul 09.00-10.00.

Adapun berbagai peralatan yang ada di dalam sebuah gardu adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4. Peralatan di dalam Gardu Tol

No	Peralatan Eksisting	No	Peralatan Eksisting	No	Peralatan Eksisting
1	Kursi Pengumpul Tol	8	<i>TCT</i>	14	<i>Reader E-Toll Card</i>
2	Meja Pengumpul Tol	9	<i>LPR</i>	15	<i>Public Address/Mic</i>
3	Cash Box	10	<i>LTS</i>	16	<i>Radio Tape</i>
4	Tas KTTM dan KTTM	11	<i>Monitor</i>	17	<i>Emergency Lamp</i>
5	Tempat Sampah	12	<i>Keyboard</i>	18	Lampu Ultra Violet
6	Bricket Thermal Roll	13	<i>Amplifier</i>	19	<i>Thermal Roll</i>
7	Pendingin Ruangan (AC)				

Sumber: Wawancara Petugas Tol, 2011

4.4 Petugas Pengumpul Tol

Dibanding pekerja pengelola tol lainnya, pekerja pengumpul tol diduga merupakan pekerja yang paling rentan terkena dampak negatif dari buruknya kualitas udara dikarenakan mengalami paparan polutan secara langsung. Pekerja yang juga merasakan dampak negatif secara langsung dari kualitas udara yang buruk di pintu tol adalah petugas kebersihan di area gardu tol.

Pekerja pengumpul tol untuk gerbang tol Cililitan sampai pada April tahun 2011 tercatat berjumlah sebanyak 73 orang, di dalamnya terdapat karyawan tetap

sebanyak 57 orang, dan sisanya, yaitu sebanyak 16 orang merupakan karyawan *outsourcing*.

Perbedaan karyawan tetap dan karyawan *outsourcing* terletak pada lamanya bekerja. Karyawan *outsourcing* biasanya bekerja dengan durasi maksimal 3 tahun. Sedangkan untuk karyawan tetap, lamanya bekerja sangat bervariasi, dimulai dari 4 tahun sampai lebih dari 20 tahun. Rata-rata usia mulai bekerja adalah 22 tahun. Waktu kerja masing-masing shift adalah sebagai berikut:

1. Shift 1: pukul 05.00-13.00
2. Shift 2: pukul 13.00-20.00
3. Shift 3: pukul 20.00-05.00

4.5 Upaya Pengendalian Konsentrasi dan Dampak Pencemaran Udara

Pencemaran udara pada gerbang tol bukan lagi merupakan hal yang asing bagi para pekerja pengumpul tol dan pihak pengelola jalan tol. Karena itu pengendalian terhadap pencemaran udara dan dampaknya terus-menerus ditingkatkan guna menjaga kesehatan pekerja juga mencegah timbulnya kerugian akibat menurunnya produktivitas. Berbagai upaya yang telah dilaksanakan oleh PT. Jasa Marga sampai pada bulan November 2010 terkait pengendalian pencemaran udara adalah sebagai berikut:

1. Penempatan tanaman pot di luar gardu tol
2. Penanaman tanaman baru di sepanjang jalan tol
3. Pengoperasian seluruh gardu tol pada saat terjadi antrean
4. Pemasangan dan pemeliharaan *Air Conditioner* (AC)
5. Penyediaan Alat Pelindung Diri (APD) bagi para petugas pengumpul tol berupa masker

BAB 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pemeriksaan *Background* Konsentrasi NO_x

Untuk memastikan kebenaran dari setiap data yang diambil di lapangan, perlu diadakan penelitian pendahuluan. Penelitian pendahuluan ini dilakukan untuk memastikan bahwa setiap peralatan dan metode yang digunakan dalam pengambilan data di lapangan menghasilkan data yang benar dan sesuai dengan SNI 19-7119.2-2005 tentang “cara uji kadar nitrogen dioksida (NO₂) dengan metode *Griess Saltzman* menggunakan spektrofotometer”.

Pengambilan data *background* ini dilakukan di Halte Teknik Universitas Indonesia pada tanggal 30 November 2010. Data yang diperoleh ini akan menampilkan konsentrasi NO_x pada saat volume kendaraan di lokasi penelitian berada pada kondisi jarang.

Tabel 5.1. Hasil Pengukuran Konsentrasi NO dan NO₂ sebagai *Background* Penelitian

Waktu Sampling	Konsentrasi NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Konsentrasi NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
11.17-12.17	6,467	6,991

Data tersebut akan menjadi acuan pengukuran konsentrasi NO dan NO₂ yang dilakukan di lapangan, yaitu pada pintu tol Cililitan. Diduga volume kendaraan di lapangan dengan volume kendaraan pada penelitian pendahuluan ini akan memberikan perbedaan angka konsentrasi NO_x. Asumsinya, penelitian di lapangan akan menghasilkan konsentrasi yang lebih besar dari nilai konsentrasi *background* di atas.

5.2 Data Konsentrasi NO_x

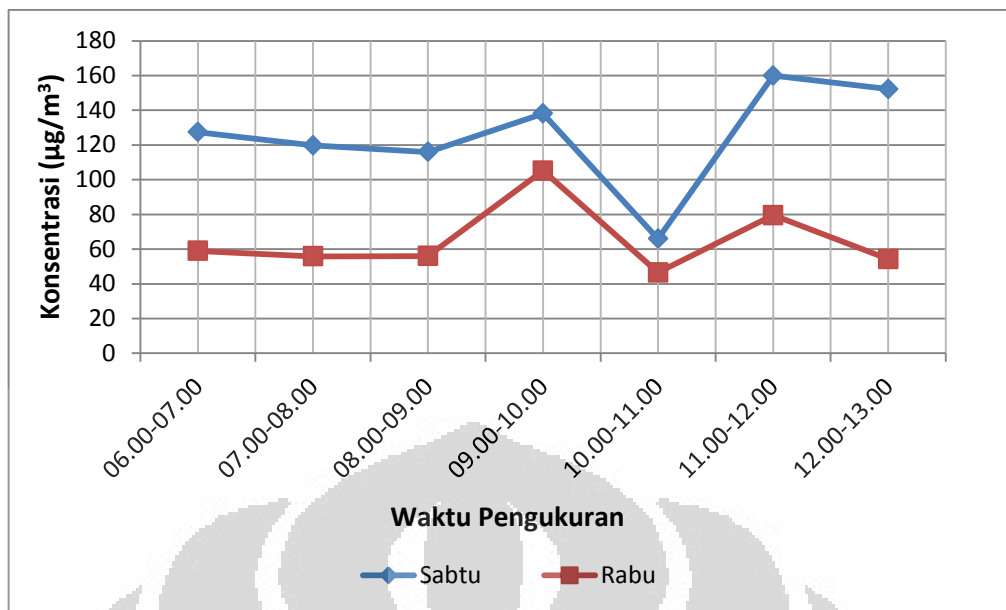
Pengambilan data berupa volume kendaraan dan konsentrasi NO_x pada pintu tol dilakukan selama 4 hari dengan proporsi 2 hari di gardu tol 13 dan 2 hari di gardu tol 14. Masing-masing gardu dilakukan pengambilan data untuk 1 hari libur dan 1 hari kerja. Alat ukur (*impinger*) di letakkan tepat di belakang gardu tol dan selang pengambil udara di tempelkan di tembok gardu kurang lebih setinggi hidung petugas pengumpul tol.

Tabel 5.2. Waktu dan Titik Pengambilan Sampel Udara

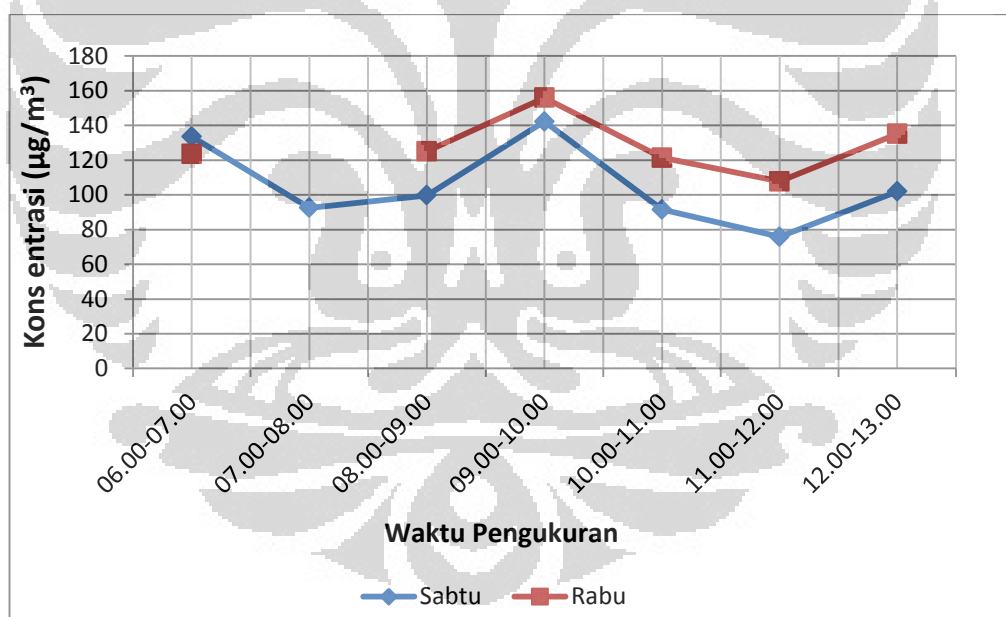
Hari	Tanggal	No. Gardu
I	Sabtu, 12 Maret 2011	13
II	Rabu, 6 April 2011	13
II	Sabtu, 23 April 2011	14
IV	Rabu, 27 April 2011	14

Pengambilan sampel dilakukan selama 7 jam, mulai pukul 06.00 sampai dengan pukul 13.00. Waktu pengambilan sampel ini disesuaikan dengan jam kerja *shift* pertama petugas pengumpul tol. Pada kenyataannya, pekerja pengumpul tol mulai bekerja pukul 05.00, namun diasumsikan pukul 05.00-06.00 belum banyak kendaraan yang melintas di jalan tol sehingga pengambilan sampel dimulai pada pukul 06.00.

Pada pengukuran hari pertama yaitu hari Sabtu, 12 Maret 2011, hanya dapat disajikan hasil pengukuran konsentrasi NO_x. Hasil pengukuran volume kendaraan tidak dapat digunakan akibat adanya kesalahan pada saat pengambilan data.



Gambar 5.1. Grafik Perbandingan Konsentrasi NO_x pada Pengukuran Gardu Tol no. 13 di Hari Libur (Sabtu, 12/03/2011) dan Hari Kerja (Rabu, 6/04/2011)



Gambar 5.2. Grafik Perbandingan Konsentrasi NO_x pada Pengukuran Gardu Tol no. 14 di Hari Libur (Sabtu, 23/04/2011) dan Hari Kerja (Rabu, 27/04/2011)

Melihat kecenderungan fluktuasi grafik pada 3 hari pertama pengambilan sampel, yaitu tanggal 12 Maret, 6 April, dan 23 April 2011, maka kehilangan data pada hari Rabu, 27 April pukul 07.00-08.00 dapat diasumsikan mengalami penurunan konsentrasi NO_x . Kehilangan data ini disebabkan oleh karena kapas

yang mengandung $K_2Cr_2O_7$ terhisap masuk ke dalam tabung *impinger* sehingga merusak larutan penjerap yang ada di dalamnya.

Kesamaan grafik dari kedua gardu tempat pengukuran adalah adanya kenaikan konsentrasi NO_x yang signifikan pada pukul 09.00-10.00 dan selanjutnya mengalami penurunan 1 jam setelahnya. Grafik juga menunjukkan bahwa dari 4 hari pengukuran, 3 hari menyatakan bahwa NO_x berada pada konsentrasi puncak pada pukul 09.00-10.00. Penjelasan lebih rinci tentang fluktuasi konsentrasi akan disajikan pada analisa perhari.

Penelitian ini mencoba mengaitkan antara hubungan jumlah kendaraan dengan konsentrasi NO dan NO_2 di udara ambien. Hubungan tersebut dapat dilihat dengan menggunakan regresi linier, baik itu regresi linier sederhana dengan 1 variabel dan juga regresi berganda dengan beberapa variabel.

5.3 Korelasi antara Kendaraan dan Konsentrasi NO_x

5.3.1 Korelasi Variasi Mesin Kendaraan dengan Konsentrasi NO_x

Setiap jenis kendaraan bermotor tentunya membutuhkan pembakaran untuk menghasilkan energi yang mampu menggerakkan kendaraan tersebut. Farnell (2006) menyatakan bahwa pembakaran pada mesin kendaraan merupakan pembakaran dalam suhu yang sangat tinggi ($>2500^\circ F$) dan menyebabkan terbentuknya polutan NO_x . Jumlah konsentrasi NO_x yang dikeluarkan oleh kendaraan amat bergantung pada desain mesin kendaraan. Desain mesin menentukan jumlah konsentrasi pencemar pada gas buangan. Desain mesin meliputi rasio kompresi, temperatur, juga campuran udara dan bahan bakar atau yang biasa disebut dengan *Air/Fuel ratio*. Secara umum terdapat dua jenis mesin yang biasa digunakan, yaitu mesin bensin dan mesin diesel.

Kontribusi masing-masing jenis mesin tersebut terhadap polutan NO_x di udara ambien diperoleh melalui perhitungan regresi linier berganda. Terdapat 2 golongan kendaraan dengan mesin bensin, yaitu golongan mobil pengangkut penumpang [M(B)] dan golongan mobil pengangkut barang [N(B)] seperti mobil *pick up*. Kendaraan dengan mesin diesel digolongkan menjadi 3, yaitu kendaraan pengangkut penumpang [M(D)] seperti panther, bus sedang, dan bus besar; kendaraan pengangkut barang [N(D)], seperti truk dan mobil box; dan kendaraan pengangkut barang yang memiliki 4 as atau lebih (O). Golongan O tidak diberikan

label [B] atau [D] karena dapat dipastikan golongan kendaraan ini menggunakan mesin diesel.

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

Perhitungan regresi ini melibatkan jumlah kendaraan konsentrasi NO, dan NO₂ di hari 2, 3, dan 4. Hari pertama tidak dilibatkan dalam setiap perhitungan regresi karena kesalahan dalam pengambilan data volume seperti yang telah disinggung di awal bab ini. Persamaan regresi linier berganda yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y = b_1X_1 \pm b_2X_2 \pm a$$

Di mana,

Y : konsentrasi NO/NO₂ di udara ambien (µg/Nm³)

X₁ : volume kendaraan dengan mesin bensin (SMP/jam)

X₂ : volume kendaraan dengan mesin diesel (SMP/jam)

Nilai koefisien b₁ menyatakan besarnya konsentrasi NO/NO₂ yang dihasilkan oleh setiap pertambahan satu satuan mobil penumpang (SMP) bermesin bensin. Sedangkan koefisien b₂ menyatakan besarnya konsentrasi NO/NO₂ yang dihasilkan oleh setiap pertambahan satu satuan mobil penumpang (SMP) bermesin diesel. Nilai r akan menunjukkan besarnya ikatan atau hubungan antara variabel terikat (Y) dengan variabel bebas (X), sedangkan R² akan menyatakan jumlah persentase kontribusi yang diberikan oleh kendaraan (X) terhadap konsentrasi NO/NO₂ di udara ambien (Y).

Tabel 5.3. Hasil Perhitungan Regresi Linier Berganda 2 untuk Konsentrasi NO dan NO₂ pada hari II, III, dan IV

Hari	Parameter	Persamaan Regresi Linier Berganda	r	R ²
II	NO	$Y = 0,025X_1 + 0,141X_2 - 21,977$	0,3016	0,091
	NO ₂	$Y = -0,1238X_1 + 0,1404X_2 + 18,061$	0,6890	0,4748
III	NO	$Y = -0,206X_1 + 0,0454X_2 + 50,059$	0,4339	0,1883
	NO ₂	$Y = -0,232X_1 + 0,2352X_2 - 35,0182$	0,3753	0,1409
IV	NO	$Y = -0,0069X_1 + 0,0561X_2 + 10,891$	0,5047	0,2547
	NO ₂	$Y = -0,035X_1 + 0,0312X_2 + 95,8030$	0,1852	0,0343

Angka koefisien positif menunjukkan adanya kenaikan konsentrasi NO/NO₂ setiap pertambahan 1 SMP, sedangkan angka koefisien negatif menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi NO/NO₂ setiap pertambahan 1 SMP. Penurunan jumlah konsentrasi akibat kendaraan yang melintas bukan merupakan hal yang logis. Asumsinya setiap kendaraan yang melintas akan mengemisikan pencemar NO_x seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Penyimpangan ini menandakan bahwa ada faktor lain yang menyebabkan perubahan konsentrasi NO_x pada udara ambien, seperti faktor meteorologis yang akan dijelaskan pada analisa harian.

Nilai koefisien b₁ pada hari kedua untuk parameter NO adalah sebesar 0,025, sedangkan untuk parameter NO₂ yaitu sebesar -0,1238. Hal ini menandakan bahwa setiap pertambahan 1 SMP kendaraan dengan mesin bensin akan menaikkan konsentrasi NO sebesar 0,025 µg/m³ dan menurunkan konsentrasi NO₂ sebesar 0,1238 µg/m³. Begitu juga untuk koefisien b₂ yang mewakili mesin diesel. Setiap pertambahan 1 SMP kendaraan bermesin diesel di hari kedua ini akan menambahkan konsentrasi NO sebesar 0,141 µg/m³ dan menambah konsentrasi NO₂ sebesar 0,140 µg/m³.

Nilai r sebesar 0,3016 untuk parameter NO di hari kedua ini menandakan kekuatan relasi antara volume kendaraan dan konsentrasi NO. Nilai ini menunjukkan korelasi cukup. Sedangkan nilai r=0,6890 untuk parameter NO₂ menunjukkan korelasi yang kuat antara volume kendaraan dengan konsentrasi NO₂. Begitu pula yang terjadi dengan hari ketiga dan keempat. Sedangkan R² (koefisien determinasi) didefinisikan sebagai jumlah persentase kontribusi kendaraan terhadap konsentrasi NO atau NO₂ di udara ambien. Contoh pada hari

kedua, kendaraan memberikan kontribusi sebesar 9,1% dari keseluruhan NO yang terukur dan sebesar 41,77% dari keseluruhan NO₂ yang terukur. Hari ketiga dan keempat juga berlaku demikian.

Dapat diketahui melalui persamaan regresi di atas, kendaraan bermesin diesel selalu memiliki nilai koefisien yang lebih besar dibanding dengan kendaraan bermesin bensin, baik untuk parameter NO maupun NO₂. Dari hasil ini diduga bahwa kontribusi mesin diesel terhadap konsentrasi pencemar NO dan NO₂ di udara ambien lebih besar dibandingkan dengan kontribusi kendaraan bermesin bensin.

Hasil ini sejalan dengan teori yang menyatakan bahwa mesin diesel memiliki rasio kompresi yang tinggi (Merker, 2009). Manahan (2005) menambahkan bahwa rasio kompresi yang tinggi selalu disertai dengan temperatur yang tinggi dan produksi nitrogen oksida yang tinggi.

Di samping itu, Merker (2009) juga menyebutkan bahwa NO_x lebih banyak terbentuk pada pembakaran di mesin diesel. Hal ini disebabkan selain karena kompresi yang tinggi, mesin diesel juga memiliki campuran yang kurus (*lean-mixture*). Campuran yang dimaksudkan di sini adalah campuran antara bahan bakar dan udara di dalam mesin. Semakin besar perbandingan jumlah udara dan jumlah bahan bakar dalam mesin, maka campuran tersebut dikatakan semakin kurus. Seperti yang telah disinggung di atas, pencampuran ini disebut sebagai *Air/Fuel Ratio*. Semakin besar *A/F ratio*, maka volume udara yang diproses dalam satu kali pembakaran akan menjadi lebih besar. Semakin banyak jumlah udara di dalam mesin akan menyebabkan jumlah NO_x yang diemisikan akan semakin bertambah.

Teori tersebut memperkuat temuan ini bahwa mesin diesel mengemisikan konsentrasi NO_x yang lebih besar dibandingkan dengan mesin bensin. Namun kesimpulan ini belum dapat menjelaskan dengan spesifik tipe kendaraan bermesin diesel yang dominan mengemisikan pencemar jenis tersebut. Karena itu perlu dilihat hubungan antara golongan kendaraan dengan konsentrasi NO_x di udara ambien.

5.3.2 Korelasi antara Golongan Kendaraan dengan Konsentrasi NO_x

Cara berpikir yang tepat di dalam menangani masalah pencemaran adalah bukan dengan mengelola pencemar tersebut sampai menjadi ramah lingkungan, melainkan mencegah atau meminimalkan pembentukan pencemar tersebut. Begitu juga dengan pencemaran yang terjadi di udara.

Cara yang tepat menangani keberadaan polutan NO_x di udara adalah dengan mencegah atau meminimalkan polutan tersebut keluar dari gas buangan kendaraan. Karena itu penting untuk mengetahui tipe kendaraan yang dominan di dalam mengemisikan pencemar NO_x di udara sehingga dalam penanganannya dapat dilakukan prioritas yang sesuai.

Persamaan regresi linier berganda untuk korelasi antara golongan kendaraan dengan konsentrasi NO_x menggunakan 5 variabel bebas yaitu kelima golongan kendaraan. Kelima golongan tersebut terdiri dari M(B), M(D), N(B), N(D), dan O seperti yang sudah dijelaskan pada korelasi menggunakan variasi mesin. Regresi linier berganda untuk 5 variabel bebas ini dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$Y = b_1X_1 \pm b_2X_2 \pm b_3X_3 \pm b_4X_4 \pm b_5X_5 \pm a$$

Di mana,

Y = konsentrasi NO/NO₂ di udara ambien (µg/Nm³)

X₁ = volume kendaraan pengangkut penumpang bermesin bensin [M(B)]

X₂ = volume kendaraan pengangkut penumpang bermesin diesel [M(D)]

X₃ = volume kendaraan pengangkut barang bermesin bensin [N(B)]

X₄ = volume kendaraan pengangkut barang bermesin diesel [N(D)]

X₅ = volume kendaraan bermotor penarik untuk gandengan atau tempel (O)

*masing-masing volume kendaraan memiliki satuan SMP

Perhitungan regresi linier berganda untuk 5 variabel bebas dilakukan dengan cara menggabungkan data kendaraan di 3 hari terakhir. Sehingga hasil akhirnya, hanya akan diperoleh 2 persamaan, yaitu untuk parameter NO dan NO₂. Nilai koefisien b₁ menyatakan besarnya konsentrasi NO/NO₂ yang dihasilkan oleh penambahan satu SMP kendaraan bergolongan M(B). Koefisien b₂ menyatakan besarnya konsentrasi NO/NO₂ yang dihasilkan oleh penambahan satu SMP kendaraan golongan M(D). Demikian halnya pada koefisien b₃, b₄, dan b₅.

Tabel 5.4. Hasil Perhitungan Regresi Linier Berganda 5 untuk Konsentrasi NO dan NO₂ pada hari II, III, dan IV

Parameter	Persamaan Regresi Linier Berganda	r	R ²
NO	$Y = -0,0043X_1 - 0,02502X_2 + 0,3648X_3 + 0,0572X_4 - 0,6062X_5 + 28,7099$	0,3389	0,1149
NO ₂	$Y = 0,1288X_1 - 0,7214X_2 + 0,2427X_3 - 0,1873X_4 + 1,384X_5 + 93,448$	0,6225	0,3876

Dari data yang disajikan pada tabel 5.4, didapati bahwa nilai koefisien tertinggi untuk parameter NO adalah koefisien b_3 , yaitu kendaraan golongan N(B) sebesar 0,3648. Sedangkan untuk parameter NO₂, nilai koefisien tertinggi dimiliki oleh kendaraan golongan O, sebesar 1,384. Itu artinya, setiap penambahan satu SMP kendaraan golongan N(B) akan menambah konsentrasi NO sebesar 0,3648 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan penambahan satu SMP kendaraan golongan O akan menambah konsentrasi NO₂ sebesar 1,384 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di udara.

Nilai r untuk parameter NO adalah sebesar 0,3389. Nilai ini menunjukkan korelasi yang cukup antara variabel X dan variabel Y. Sedangkan nilai r untuk parameter NO₂ menunjukkan korelasi yang kuat di antara keduanya, yaitu sebesar 0,6225. Dari perhitungan untuk parameter NO, ternyata hasil yang diperoleh berbeda dengan teori yang telah dijabarkan pada regresi linier berganda dengan variasi mesin. Namun hasil tersebut memang tidak dapat menyimpulkan kendaraan mana yang paling besar mengemisikan NO, mengingat korelasi yang diperoleh juga hanya berada pada kategori cukup, bahkan mendekati kategori sangat lemah. Karena itu perlu dilakukan metode tambahan disertai dengan kajian literatur yang diharapkan dapat memperjelas hasil sementara yang telah diperoleh. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menganalisa kesamaan fluktuasi jumlah kendaraan terhadap konsentrasi NO dan NO₂.

5.3.3 Korelasi antara setiap Golongan Kendaraan terhadap Konsentrasi NO_x dengan melihat Persamaan Fluktuasi pada Grafik

Pengujian korelasi dengan melihat persamaan fluktuasi grafik ini diharapkan menjadi metode terakhir yang dapat digunakan untuk memperkecil dugaan terhadap jenis kendaraan yang merupakan kontributor terbesar terhadap pencemar NO_x. Pengujian ini dilakukan dengan cara melihat apakah fluktuasi jumlah kendaraan per golongan sejalan dengan fluktuasi konsentrasi NO atau NO₂. Bila pertambahan jumlah kendaraan untuk sebuah golongan diiringi dengan pertambahan konsentrasi NO/NO₂, maka korelasi tersebut dikatakan sejalan. Begitu juga untuk penurunan jumlah kendaraan sebuah golongan yang diikuti dengan penurunan konsentrasi NO/NO₂.

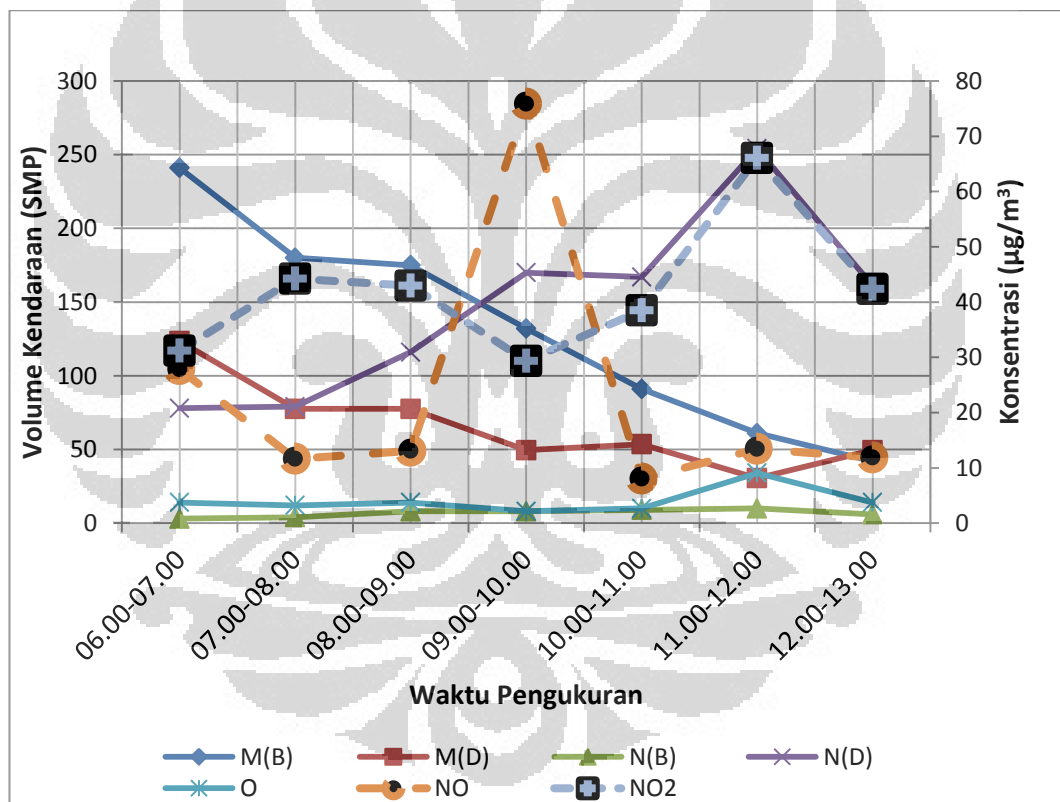
Pengujian korelasi ini akan dilakukan untuk 3 hari data, yaitu Rabu, 6 April; Sabtu, 23 April; dan Rabu, 27 April 2011. Analisa grafik akan dilakukan dengan ketentuan di bawah ini:

a. Simbol +

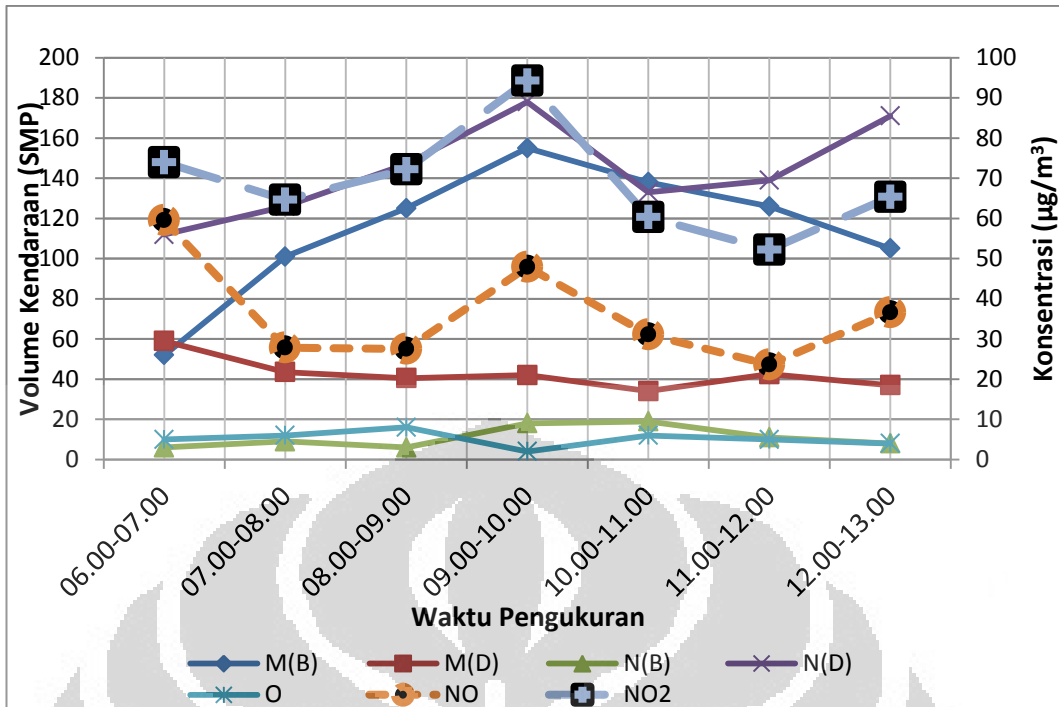
Simbol ini menandakan terjadinya kenaikan konsentrasi NO/NO₂ disertai dengan kenaikan volume kendaraan atau terjadinya penurunan konsentrasi NO/NO₂ disertai dengan penurunan volume kendaraan.

b. Simbol –

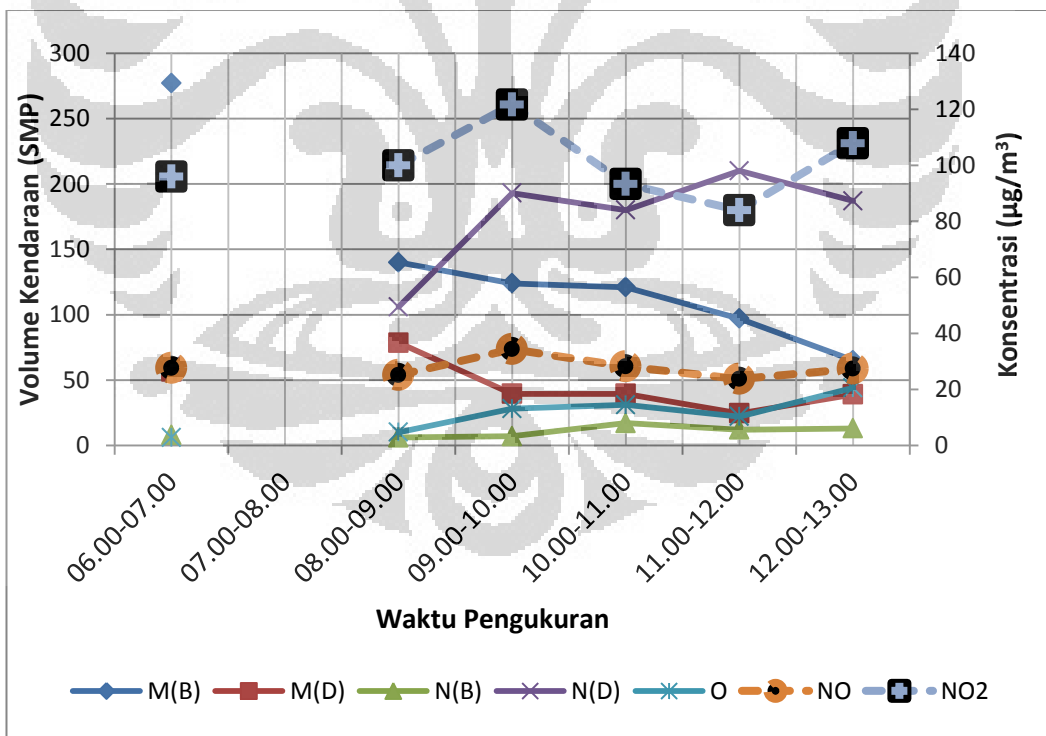
Simbol ini menandakan terjadinya kenaikan konsentrasi NO/NO₂ disertai dengan penurunan volume kendaraan atau terjadinya penurunan konsentrasi NO/NO₂ disertai dengan kenaikan volume kendaraan.



Gambar 5.3. Grafik Perbandingan Fluktuasi Volume Kendaraan 5 Golongan dengan Fluktuasi Konsentrasi NO dan NO₂ hari Rabu, 6 April 2011



Gambar 5.4. Grafik Perbandingan Fluktuasi Volume Kendaraan 5 Golongan dengan Fluktuasi Konsentrasi NO dan NO₂ hari Sabtu, 23 April 2011



Gambar 5.5. Grafik Perbandingan Fluktuasi Volume Kendaraan 5 Golongan dengan Fluktuasi Konsentrasi NO dan NO₂ hari Rabu, 27 April 2011

Tabel 5.5. Hasil Analisa Perbandingan Fluktuasi Volume Kendaraan 5 Golongan dengan Fluktuasi Konsentrasi NO dan NO₂ hari II, III, dan IV

Hari	Titik 1	Titik 2	Perbandingan Grafik									
			M (B)		M (D)		N(B)		N(D)		O	
			NO	NO ₂	NO	NO ₂	NO	NO ₂	NO	NO ₂	NO	NO ₂
II	06.00-07.00	07.00-08.00	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-
	07.00-08.00	08.00-09.00	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-
	08.00-09.00	09.00-10.00	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+
	09.00-10.00	10.00-11.00	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+
	10.00-11.00	11.00-12.00	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
	11.00-12.00	12.00-13.00	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+
III	06.00-07.00	07.00-08.00	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
	07.00-08.00	08.00-09.00	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-
	08.00-09.00	09.00-10.00	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	09.00-10.00	10.00-11.00	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-
	10.00-11.00	11.00-12.00	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+
	11.00-12.00	12.00-13.00	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
IV	06.00-07.00	07.00-08.00										
	07.00-08.00	08.00-09.00										
	08.00-09.00	09.00-10.00	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
	09.00-10.00	10.00-11.00	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-
	10.00-11.00	11.00-12.00	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+
	11.00-12.00	12.00-13.00	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
	Σ Korelasi Positif (+)		8	9	7	7	9	9	10	8	10	9

Secara berurut, jumlah korelasi positif setiap golongan kendaraan terhadap konsentrasi NO_x (NO+NO₂) adalah M(B)=17, M(D)=14, N(B)=18, N(D)=18, dan O=19. Jumlah korelasi positif yang terbanyak dimiliki oleh kendaraan golongan O.

Hasil di atas menunjukkan bahwa jumlah konsentrasi NO_x paling besar diemisikan oleh kendaraan bergolongan O, yaitu kendaraan bermotor penarik atau tempel atau gandeng dengan jumlah korelasi positif sebanyak 19. Hal ini dapat disebabkan karena kendaraan golongan O memiliki volume silinder yang lebih besar dibanding dengan kendaraan pengangkut penumpang.

Truk gandeng didesain untuk mengangkut muatan yang sangat berat. SNI 09-1825-2002 yang telah memperinci golongan kendaraan M, N, dan O ini menyebutkan bahwa kendaraan golongan O dapat mencapai nilai GVW (*Gross Vehicle Weight*) seberat 10 ton atau lebih.

Sugiarto (2005) menyebutkan bahwa cara yang paling pasti untuk mendapatkan tenaga lebih pada suatu *engine* yaitu dengan meningkatkan jumlah pembakaran udara dan bahan bakar. Peningkatan jumlah udara dan bahan bakar dapat dilakukan dengan cara menambah silinder atau memperbesar ukuran silinder dari ukuran sebelumnya.

Perda Provinsi Lampung No. 4 tahun 1994 tentang Pajak Kendaraan Bermotor menyebutkan bahwa dalam usahanya menggerakkan roda kendaraan, volume silinder kendaraan pengangkut barang dapat didesain mencapai 13001 cc ke atas. Tentu saja kendaraan yang dimaksud adalah kendaraan pengangkut barang bermesin diesel, mengingat kendaraan pengangkut barang bermesin bensin tidak ditujukan untuk mengangkut barang-barang yang memiliki beban yang besar. Silinder berukuran jumbo hanya ada pada kendaraan-kendaraan pengangkut barang bermesin diesel yang didesain untuk mengangkut barang-barang dengan beban yang sangat besar, seperti truk gandeng/tempel (O).

Dengan demikian, maka dapat disimpulkan bahwa kontributor terbesar pencemar NO_x di udara ambien pada pintu tol Cililitan adalah golongan kendaraan O, yaitu kendaraan bermotor penarik untuk gandengan atau tempelan.

5.3.4 Korelasi antara Jumlah Kendaraan dengan Konsentrasi NO_x menggunakan Regresi Linier Sederhana

Uji korelasi linier secara sederhana antara jumlah kendaraan dengan pencemar parameter NO dan NO_2 dilakukan untuk melihat korelasi antara keseluruhan kendaraan dengan kedua parameter di atas. Regresi linier sederhana menggabungkan setiap jumlah kendaraan (dalam satuan SMP) di semua golongan sehingga dihasilkan hanya 1 variabel bebas (disimbolkan dengan b_1). Perhitungan korelasi ini menggabungkan jumlah kendaraan di hari kedua, ketiga, dan keempat. Hubungan antara seluruh jumlah kendaraan dengan parameter pencemar NO/NO_2 akan dihasilkan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$Y = b_1 \pm X$$

Di mana,

Y = Konsentrasi NO/NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

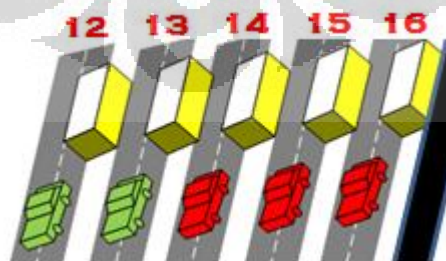
X = volume kendaraan (SMP/jam)

Tabel 5.6. Hasil Perhitungan Regresi Linier Sederhana untuk Konsentrasi NO dan NO₂ pada hari II, III, dan IV

Hari	Parameter	Persamaan Regresi Linier Sederhana	r	R ²
II	NO	$Y = 0,08898x - 9,467674$	0,213591	0,045621
	NO ₂	$Y = -0,019025x + 49,061025$	-0,1989	0,039585
III	NO	$Y = -0,0767x + 61,0336$	-0,28392	0,080611
	NO ₂	$Y = 0,101153x + 36,41497$	0,365315	0,133455
IV	NO	$Y = 0,070165x + 1,44359$	0,513392	0,263571
	NO ₂	$Y = 0,0207435x + 92,670757$	0,042642	0,001818

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapati bahwa korelasi antara kendaraan dan konsentrasi pencemar sangat kecil, bahkan juga ada yang bernilai negatif. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, korelasi negatif memiliki arti bahwa penambahan kendaraan atau setiap kenaikan 1 SMP akan mengurangi konsentrasi NO/NO₂. Hal ini menggambarkan bahwa ada faktor luar yang juga ikut mempengaruhi jumlah konsentrasi NO_x di udara, seperti faktor alam ataupun faktor meteorologis yang akan dijelaskan pada analisa harian.

Namun, salah satu alasan yang paling kuat akan nilai korelasi yang kecil adalah adanya konsentrasi pencemar NO dan NO₂ yang diemisikan oleh kendaraan yang melintas pada gardu lain. Jarak antar gardu satu dengan yang lainnya hanya mengalami sedikit penambahan dari lebar sebuah kendaraan. Berdasarkan hasil wawancara dengan karyawan PT. Jasa Marga, lebar gardu diperkirakan tidak lebih dari 1 m. Hal ini mengindikasikan bahwa jarak antara alat *impinger* dengan kendaraan lain yang tidak diukur volumenya hanya berjarak ±2,5 sampai 3 m.



Gambar 5.6. Posisi Gardu Tol pada Pintu Tol Cililitan II

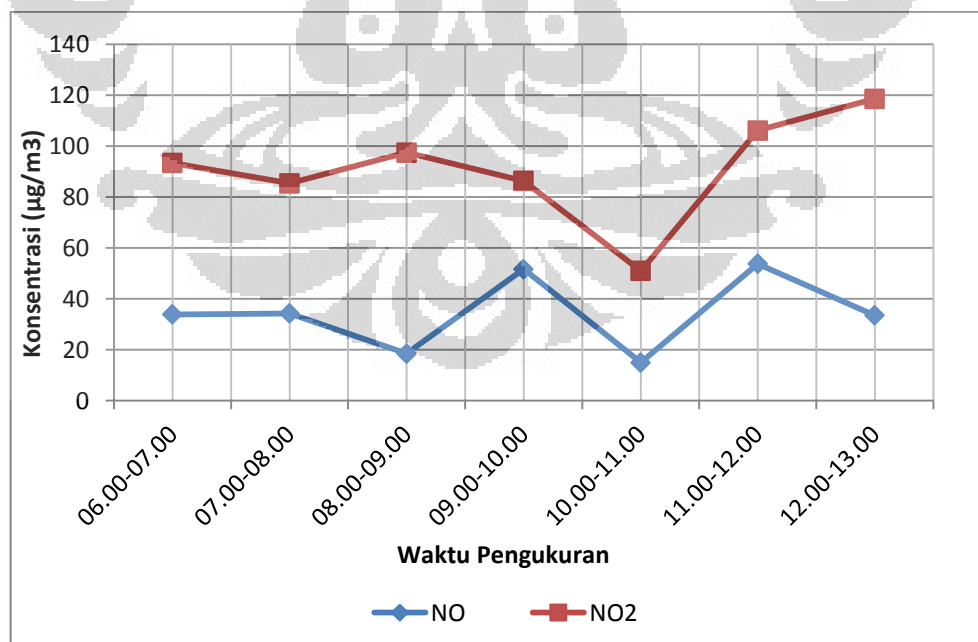
Dari gambar dapat terlihat bahwa pengambilan sampel udara pada gardu 13 kemungkinan besar sangat dipengaruhi oleh konsentrasi NO_x yang juga diemisikan kendaraan yang melintas di pada gardu 12-16, terkhusus pada gardu 12 dan 14. Pengambilan sampel yang dilakukan pada gardu 14 juga memiliki kemungkinan yang sama, kendaraan yang melintas di gardu 13 dan 15 diduga sangat mempengaruhi jumlah NO_x yang tertangkap pada impinger. Dugaan ini muncul karena sifat gas yang sangat ringan sehingga mudah dibawa oleh angin.

5.4 Analisa Harian

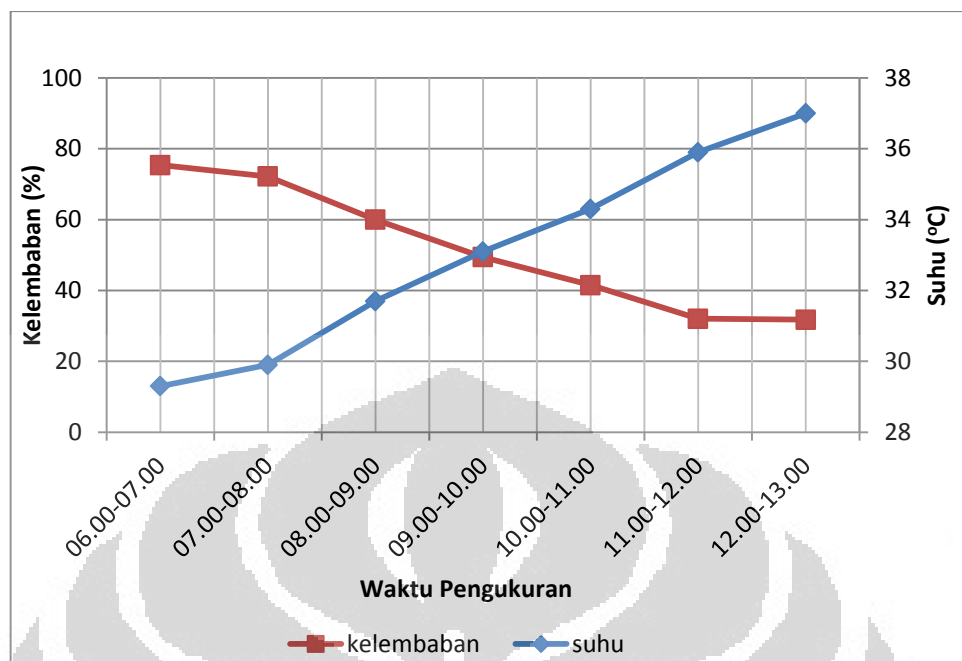
Pada analisa harian ini akan dijelaskan keberadaan jumlah konsentrasi dan fluktuasi NO dan NO_2 yang terbentuk selama 4 hari penelitian dengan melibatkan faktor-faktor yang diduga mempengaruhinya. Tentunya analisa akan melibatkan faktor transportasi, yaitu jumlah kendaraan dan juga faktor meteorologis. Di samping melakukan pengukuran terhadap jumlah kendaraan dan konsentrasi NO_x di lapangan, pengambilan data juga dilakukan terhadap suhu dan kelembaban.

5.4.1 Sabtu, 12 Maret 2011

Berikut adalah grafik konsentrasi NO dan NO_2 , suhu, serta kelembaban yang diperoleh dari hasil pengukuran hari pertama:



Gambar 5.7. Grafik Fluktuasi Konsentrasi NO dan NO_2 pada Gardu no. 13 Sabtu, 12 Maret 2011



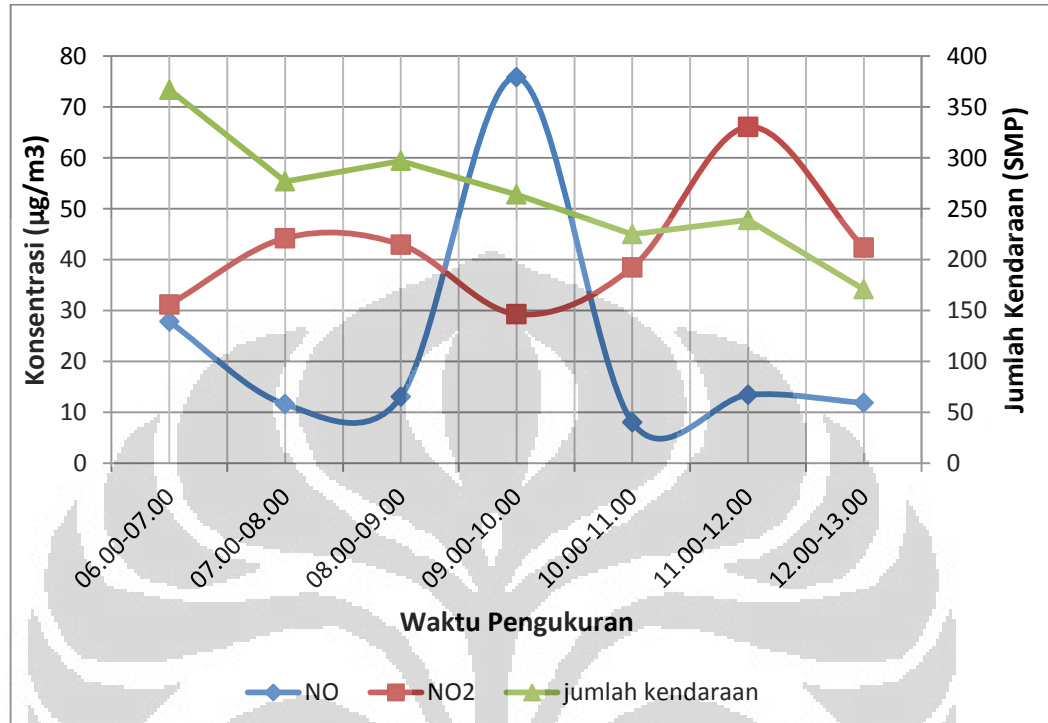
Gambar 5.8. Grafik Fluktuasi Kelembaban dan Suhu pada Gardu no 13 Sabtu, 12 Maret 2011

Pada hari pertama, tidak terdapat grafik yang menunjukkan jumlah kendaraan. Hal ini diakibatkan adanya kesalahan yang dilakukan pada saat pengambilan data. Data yang lain seperti konsentrasi NO , NO_2 , suhu, dan kelembaban diperoleh dengan jelas. Namun keempat data tersebut sulit untuk menjelaskan fluktuasi konsentrasi NO_x di udara ambien bila tidak dilihat hubungannya dengan jumlah kendaraan.

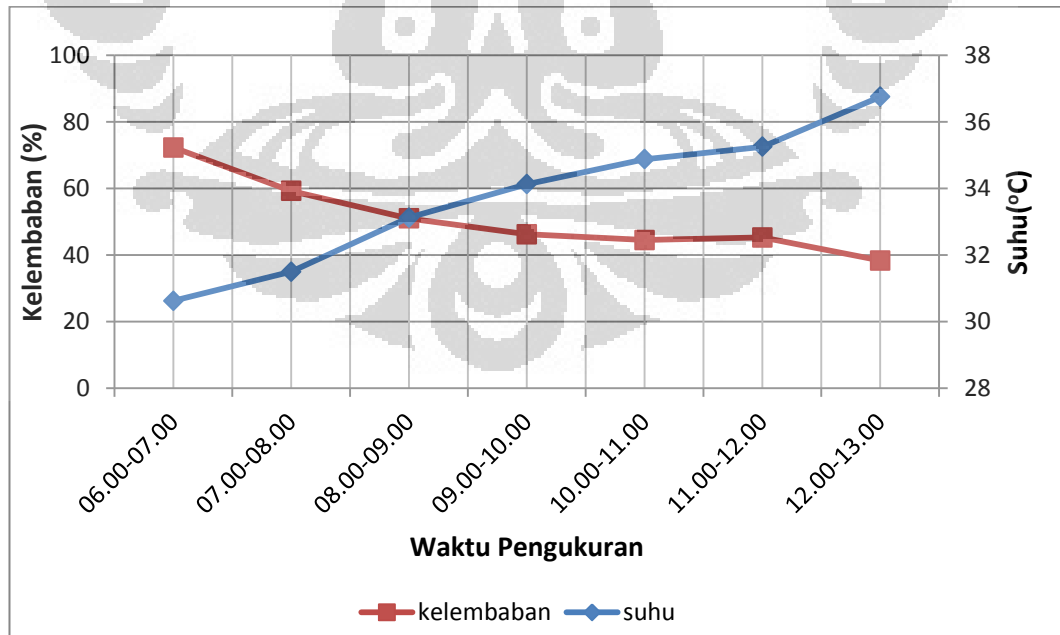
Hal yang sekilas dapat dijelaskan adalah terjadinya fluktuasi konsentrasi NO dan NO_2 yang saling bertolak belakang kecuali pada jam 09.00-10.00 hingga 11.00-12.00. Hal ini menunjukkan bahwa kehadiran NO dan NO_2 adalah saling mempengaruhi. Hal ini diduga akibat reaksi oksidasi NO menjadi NO_2 dengan bantuan sinar matahari. Prosesnya akan dijelaskan dengan lebih rinci pada hari Rabu, 6 April 2011.

5.4.2 Rabu, 6 April 2011

Berikut adalah grafik konsentrasi NO dan NO₂, jumlah kendaraan (SMP), suhu, serta kelembaban yang diperoleh dari hasil pengukuran hari kedua:



Gambar 5.9. Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi NO dan NO₂ pada Gardu no. 13 Rabu, 6 April 2011

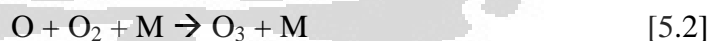


Gambar 5.10. Grafik Fluktuasi Kelembaban dan Suhu pada Gardu no 13 Rabu, 6 April 2011

Grafik yang disajikan di atas menunjukkan adanya kesamaan antara fluktuasi konsentrasi NO dengan fluktuasi kendaraan. Fluktuasi konsentrasi NO berbanding lurus dengan fluktuasi jumlah kendaraan di sepanjang waktu pengambilan sampel kecuali untuk pukul 09.00-10.00, tetapi tidak banyak berbanding lurus dengan fluktuasi konsentrasi NO₂. Fakta ini sejalan dengan teori yang dikemukakan oleh Henry (1974) bahwa kendaraan mengemisikan NO jauh lebih besar dari pada NO₂ pada suhu pembakaran yang tinggi (termasuk di dalamnya pembakaran dalam mesin kendaraan), sedangkan NO₂ yang terbentuk dari pembakaran di dalam kendaraan hanya mencapai 5-10%. Mulai pukul 06.00-11.00 grafik menunjukkan fluktuasi konsentrasi yang bertolak belakang antara konsentrasi NO dan NO₂.

Data ini menunjukkan bahwa setiap kenaikan jumlah NO₂ disertai dengan penurunan NO, sebaliknya setiap penurunan jumlah NO₂ diikuti dengan kenaikan jumlah NO. Hasil yang disajikan ini menunjukkan adanya reaksi yang saling terkait di antara kedua senyawa tersebut, di mana kehadiran NO di udara akan mempengaruhi kehadiran NO₂, begitu juga sebaliknya.

NO₂ yang berada di atmosfer akan dipecah oleh sinar matahari melalui proses fotodisosiasi menjadi NO dan O di troposfer. Kemudian Molekul O yang terdapat di udara akan berikatan dengan O₂ dengan bantuan energi matahari dan membentuk O₃. Kemudian O₃ tersebut akan bereaksi dengan NO yang dikeluarkan dari kendaraan dan menghasilkan NO₂.



Diduga tidak seluruh NO₂ akan dipecah oleh matahari membentuk NO dan O. Sebagian NO₂ pada atmosfer juga akan mengalami reaksi dengan ozon dan membentuk NO₃. Kemudian NO yang dikeluarkan oleh kendaraan akan bereaksi dengan NO₃ membentuk NO₂ melalui reaksi berikut:



Keberadaan NO₂ juga meningkat pada pukul 11.00-12.00, namun kenaikannya seiring dengan kenaikan konsentrasi NO dan kenaikan jumlah

kendaraan. Pada jam ini, fluktuasi konsentrasi NO_2 tidak bertolak belakang dengan fluktuasi konsentrasi NO seperti yang terjadi pada pukul 06.00 hingga menjelang pukul 11.00. Fenomena ini diperkirakan dapat terjadi karena adanya kenaikan temperatur dan diikuti dengan kenaikan kelembaban. Pada grafik, terlihat bahwa pada pukul 11.00-12.00 terjadi kenaikan kelembaban dari waktu sebelumnya yaitu pukul 10.00-11.00. Kenaikan kelembaban tercatat sebesar 0,75%, dari 44,5% menjadi 45,25%. Namun di saat yang sama suhu juga mengalami peningkatan, yaitu sebesar $0,38^\circ\text{C}$ dari $34,87^\circ\text{C}$ menjadi $35,25^\circ\text{C}$. Kenaikan nilai kelembaban dipengaruhi oleh penambahan jumlah butiran-butiran air di udara.

Suhu yang semakin tinggi mengindikasikan sinar matahari yang semakin kuat dan menyebabkan terjadinya fotodisosiasi terhadap butiran-butiran air tersebut. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Jumlah oksigen di udara akan semakin meningkat melalui reaksi di atas. Oksigen tersebut seterusnya akan digunakan untuk membantu terjadinya reaksi [5.2] dan [5.3]. Sehingga, meskipun sama-sama mengalami kenaikan konsentrasi, kenaikan konsentrasi NO_2 lebih besar dibandingkan dengan kenaikan konsentrasi NO pada pukul 11.00-12.00 ini. Kenaikan konsentrasi NO tercatat sebesar $5,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan konsentrasi NO_2 naik sebesar $27,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Penyimpangan juga terjadi pada pukul 09.00-10.00. Pada jam tersebut, kenaikan NO diikuti dengan penurunan jumlah kendaraan. Bila diperhatikan dari kelima golongan kendaraan yang diukur, 3 golongan kendaraan mengalami penurunan jumlah, 1 golongan memiliki jumlah yang sama dari jam sebelumnya, dan hanya 1 golongan kendaraan yang mengalami kenaikan jumlah secara signifikan, yaitu golongan truk pengangkut barang bermesin diesel. Berdasarkan data yang dikeluarkan AP-67 pada tahun 1970, rata-rata emisi faktor NO_x untuk mesin diesel lebih besar dari mesin bensin. Untuk kendaraan dengan mesin bensin menghasilkan $0,013 \text{ kg NO}_x$ dari setiap 1 liter bensin yang dibakar, sedangkan untuk mesin diesel menghasilkan $0,026 \text{ kg NO}_x$ dari setiap 1 liter solar yang dibakar.

Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan jumlah truk pengangkut barang bermesin diesel dengan selisih yang cukup besar dari waktu sebelumnya, yaitu sebesar 54 SMP, dapat menjadi indikasi jumlah konsentrasi NO yang tinggi pada jam tersebut. Data lain yang dapat memperkuat alasan ini adalah perubahan suhu yang sangat kecil. Dari 4 kali pengambilan data suhu setiap 15 menit pada pukul 09.00-10.00, 3 data pertama menunjukkan angka suhu yang sama, yaitu sebesar 34°C. Kemudian pada pengambilan data keempat suhu mengalami sedikit kenaikan menjadi 34,5°C. Kestabilan suhu menandakan kestabilan atmosfer. Dan kestabilan atmosfer merujuk kepada pergerakan angin yang tenang atau sangat kecil. Sebaliknya fluktuasi suhu menandakan adanya pergerakan angin yang cukup dapat dirasakan. (Peavey, 1985).

Gas bersifat sangat ringan dan mudah terbawa angin. Dengan keadaan udara yang sangat tenang, diduga NO yang diemisikan oleh kendaraan langsung dapat tertangkap oleh alat *impinger* sebelum terbawa angin. Alasan yang hampir serupa juga dapat digunakan untuk menjelaskan konsentrasi NO₂ yang mengalami penurunan. Dengan adanya dugaan bahwa sebagian besar NO sudah terserap oleh *impinger*, maka secara otomatis jumlah NO yang akan dioksidasi menjadi NO₂ tentunya akan berkurang. Di samping itu, penurunan konsentrasi NO₂ juga ada kaitannya dengan pergerakan angin.

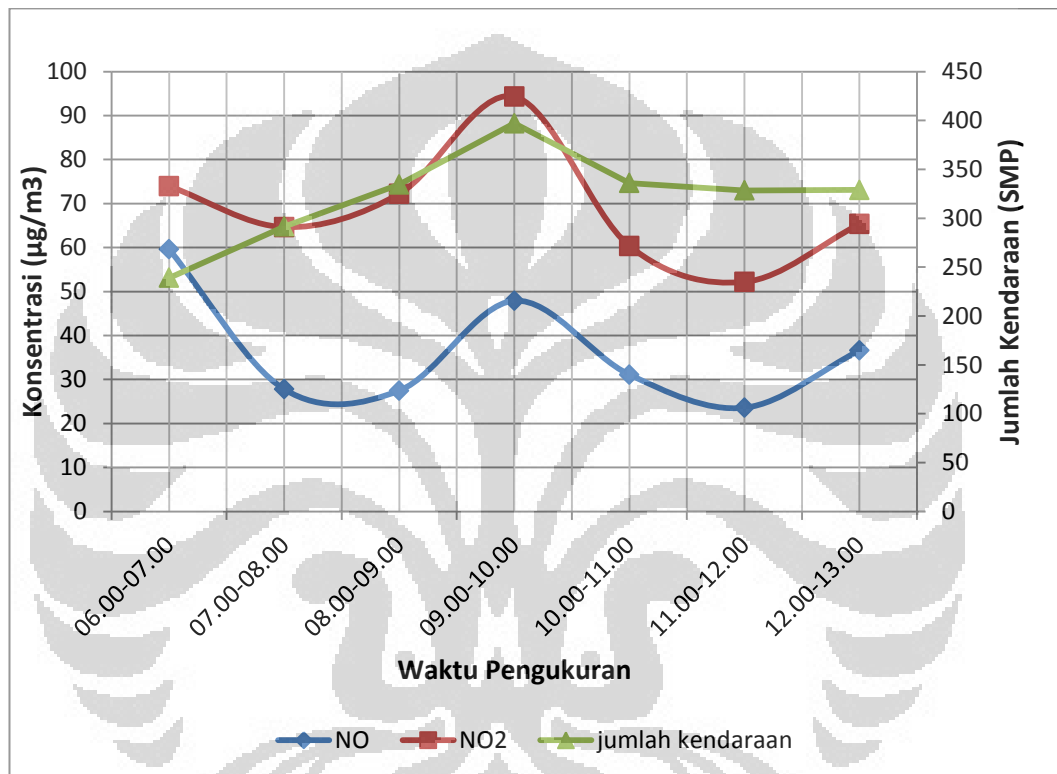
Sama seperti kebanyakan pintu tol lainnya, pintu tol yang memiliki gardu lebih dari 3 biasanya selalu ditutupi dengan atap yang panjang dan lebar. Atap tersebut akan menghalangi sinar matahari sehingga oksidasi NO tidak dapat terjadi tepat di atas gardu di mana alat *impinger* diletakkan. Karena kendaraan sangat sedikit mengemisikan polutan NO₂, yaitu berkisar antara 5-10% saja (Henry, 1974), diduga polutan NO₂ yang terukur berasal dari oksidasi NO yang berada di area yang tidak tertutup oleh atap. Dengan pergerakan angin yang kecil, maka pencemar NO₂ yang terbawa masuk gardu dan ditangkap oleh alat *impinger* juga akan semakin kecil.

Hal yang sama juga berlaku untuk pukul 12.00-13.00. Di sini konsentrasi NO₂ menurun cukup jauh. Hal ini dapat diakibatkan oleh kestabilan suhu yang menandakan pergerakan udara yang sangat minim. NO₂ yang terbentuk di bagian luar atap tidak dapat masuk ke bagian dalam atap karena tidak adanya bantuan

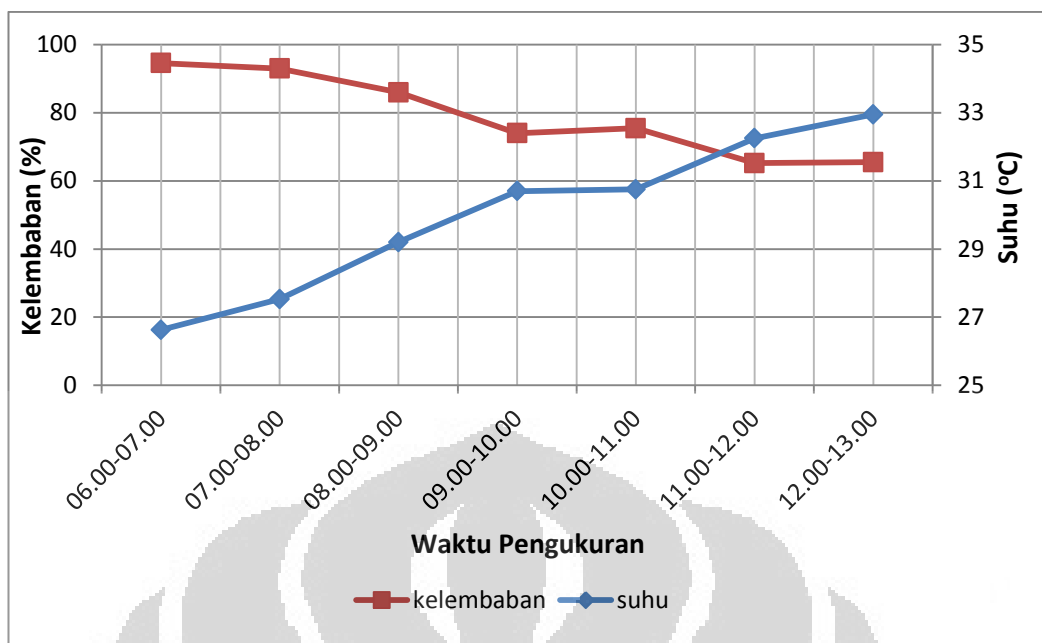
dari angin. Data suhu dari keempat pengambilan data setiap 15 menit adalah 36°C, 37°C, 37°C, dan 37°C.

5.4.3 Sabtu, 23 April 2011

Berikut adalah grafik konsentrasi NO dan NO₂, jumlah kendaraan, suhu, serta kelembaban yang diperoleh dari hasil pengukuran hari ketiga:



Gambar 5.11. Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi NO dan NO₂ pada Gardu no. 14 Sabtu, 23 April 2011



Gambar 5.12. Grafik Fluktuasi Kelembaban dan Suhu pada Gardu no 14 Sabtu, 23 April 2011

Pada hari ketiga pukul 06.00-07.00 terjadi penyimpangan, di mana konsentrasi NO dan NO₂ menurun seiring dengan kenaikan jumlah kendaraan. Hal ini dapat disebabkan karena kelembaban yang masih sangat tinggi pada jam tersebut, yaitu sebesar 94,6%. Kelembaban tinggi yang ditandai dengan banyaknya butiran-butiran air di udara menyebabkan produksi asam nitrat meningkat (HNO₃). Produksi asam nitrat (HNO₃) ini melibatkan senyawa NO₃ dan N₂O₅ di atmosfer.

Senyawa NO₃ merupakan senyawa yang sangat mudah bereaksi dan cepat mengalami fotolisis, sehingga waktu tinggalnya sangat singkat di udara. NO₃ berjumlah cukup banyak pada malam hari karena pada saat malam tidak ada cahaya matahari. Menjelang pagi, seiring dengan munculnya matahari, NO₃ akan bereaksi dengan NO₂ di udara dan membentuk N₂O₅. Butiran-butiran air di udara akan bereaksi dengan N₂O₅ tersebut membentuk asam nitrat (HNO₃). Reaksinya adalah sebagai berikut:



Dengan demikian konsentrasi NO₂ mengalami penurunan. Sedangkan penurunan konsentrasi NO diakibatkan oleh reaksi senyawa NO dengan NO₃ dan

membentuk NO₂. NO₂ yang terbentuk kemudian akan bereaksi kembali seperti pada reaksi [5.7] dan [5.8]. Reaksi NO dan NO₃ adalah sebagai berikut:



Konsentrasi NO pada jam 07.00-08.00 dan 08.00-09.00 tidak menunjukkan perbedaan jumlah konsentrasi yang besar. Konsentrasi NO pada kedua jam pengambilan sampel tersebut menunjukkan perbedaan yang sangat kecil, hanya sebesar 0,38 µg/m³. Konsentrasi NO₂ mengalami kenaikan sebesar 7,5 µg/m³ dan jumlah kendaraan mengalami penambahan sebesar 43 SMP.

Sekalipun jumlah kendaraan meningkat, namun konsentrasi NO hanya mengalami sedikit perubahan, bahkan yang terjadi adalah penurunan konsentrasi. Fenomena ini menjelaskan bahwa senyawa NO akan mengalami oksidasi menjadi NO₂ pada saat intensitas matahari meningkat dan hidrokarbon dilepaskan ke alam bebas oleh kendaraan bermotor. Hal ini didukung dengan adanya penambahan suhu yang cukup besar, yaitu sebesar 1,675°C, yang juga dapat diartikan sebagai naiknya energi sinar matahari. Pembentukan NO₂ dengan bantuan hidrokarbon akan dijelaskan pada analisa konsentrasi NO_x pukul 09.00-10.00.

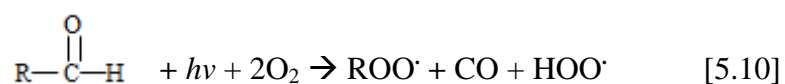
Berbeda dengan hari kerja, pada hari ini volume kendaraan tidak besar di pagi hari. Volume kendaraan mencapai nilai maksimum pada pukul 09.00-10.00. Berdasarkan pengamatan di lapangan, pukul 09.00-10.30 terjadi antrean di lokasi gardu tol tempat pengambilan sampel udara. Sugiarto (2005) menyatakan bahwa bila kendaraan berjalan pada jalan yang macet dan cuaca panas, ruang mesin akan menjadi relatif panas. Akibatnya, bahan bakar di dalam karburator mudah sekali menguap dan memungkinkan juga meluap ke venturi. Pada saat ini pencampuran bahan bakar dan udara akan menjadi kaya. Jumlah konsumsi bahan bakar yang semakin besar akan menyebabkan konsentrasi hidrokarbon yang diemisikan kendaraan ke udara juga akan semakin besar.

Hidrokarbon yang dilepaskan kendaraan ke atmosfer akan mengalami proses fotokimia dan membentuk senyawa karbonil. Dua keistimewaan senyawa karbonil adalah:

- Terbentuk melalui reaksi oksidasi fotokimia dari hampir seluruh jenis hidrokarbon

- Senyawa ini akan memproduksi radikal bebas yang sangat reaktif, ozon, dan *peroxyacyl nitrates*

Senyawa karbonil terdiri dari 2 senyawa, yaitu aldehid dan keton. Senyawa aldehid akan membentuk radikal hidroperoksil (HOO·) dan gugus radikal peroksil (ROO·) dengan reaksi sebagai berikut:



ROO· dan HOO· akan mengoksidasi senyawa NO yang diemisikan oleh kendaraan bermotor menjadi NO₂ dengan reaksi sebagai berikut:



Kenaikan terhadap konsentrasi NO dan NO₂ yang terjadi di jalan tol pada jam tersebut mungkin saja terjadi oleh karena kondisi antrean. Antrean panjang menyebabkan semakin banyak kendaraan yang diam di area pintu tol. Kenaikan jumlah konsentrasi NO pada udara ambien tentunya berbanding lurus dengan pertambahan jumlah kendaraan yang mengantre. Senyawa NO yang diemisikan kendaraan kemudian dioksidasi menjadi NO₂ menurut reaksi di atas. Senyawa NO₂ tersebut dibawa angin masuk ke arah gardu tol dan ditangkap oleh alat *impinger*. Pada kurun waktu 1 jam ini suhu terus mengalami kenaikan pada setiap pengukuran (pengukuran setiap 15 menit sebanyak 4 kali) yang menjadi tanda adanya pergerakan udara atau angin.

Sedangkan kenaikan konsentrasi NO dapat disebabkan oleh karena kendaraan-kendaraan yang melakukan transaksi di gardu tol mengalami pergantian dengan sangat cepat. Emisi NO oleh kendaraan yang sedang melakukan transaksi diduga kuat belum mengalami oksidasi sebelum masuk ke dalam tabung *impinger*. Hal ini logis dikarenakan kondisi gardu yang terhalang dari sinar matahari. Di samping itu, juga karena alat hisap *impinger* menempel dengan gardu, sehingga NO yang diemisikan dapat segera ditangkap. Kemungkinan-kemungkinan tersebut menjelaskan bagaimana kenaikan NO dan NO₂ terjadi pada waktu yang bersamaan di jam ini.

Reaksi ROO· dan HOO· di atas akan menyisakan HO· dan RO· di atmosfer. Tercatat pada pukul 10.00-11.00 terjadi kenaikan kelembaban dari 74%

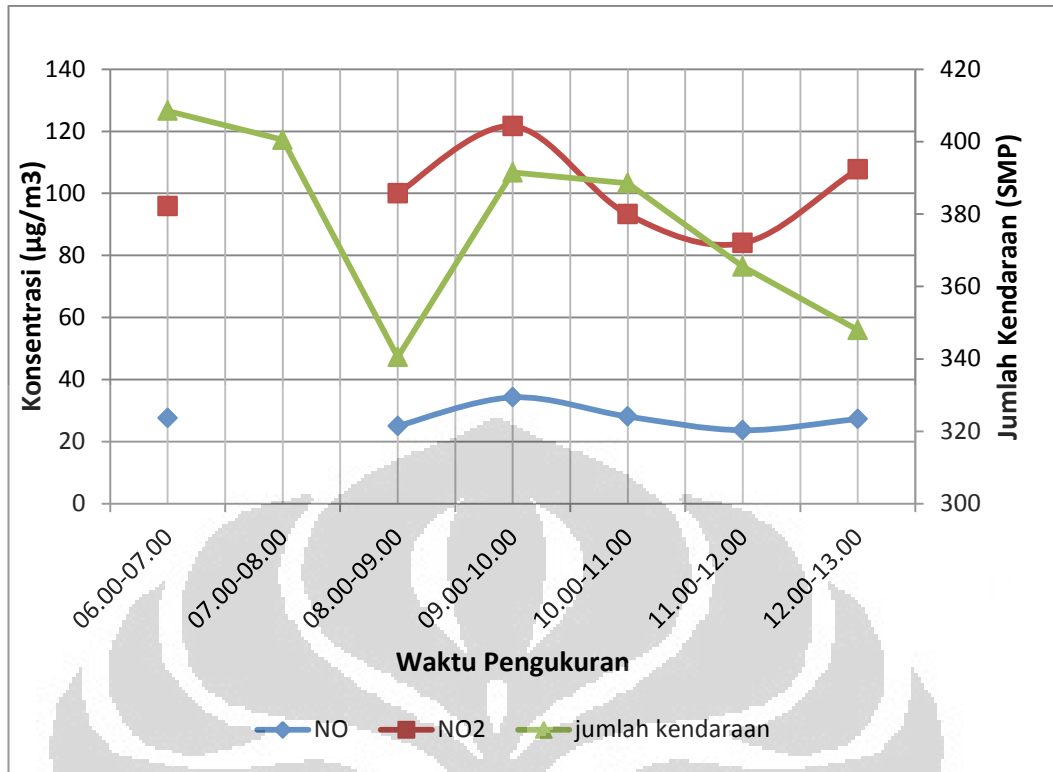
menjadi 75,5%. Naiknya angka kelembaban mengindikasikan bertambahnya jumlah butiran air di udara. Butiran air tersebut akan bereaksi dengan O^{\cdot} membentuk $2HO^{\cdot}$. Sehingga jumlah konsentrasi HO^{\cdot} di udara akan semakin meningkat. HO^{\cdot} tersebut kemudian bereaksi dengan NO_2 membentuk asam nitrat (HNO_3). Hal ini menyebabkan konsentrasi NO_2 mengalami penurunan yang cukup besar yaitu $33,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dari jam sebelumnya. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



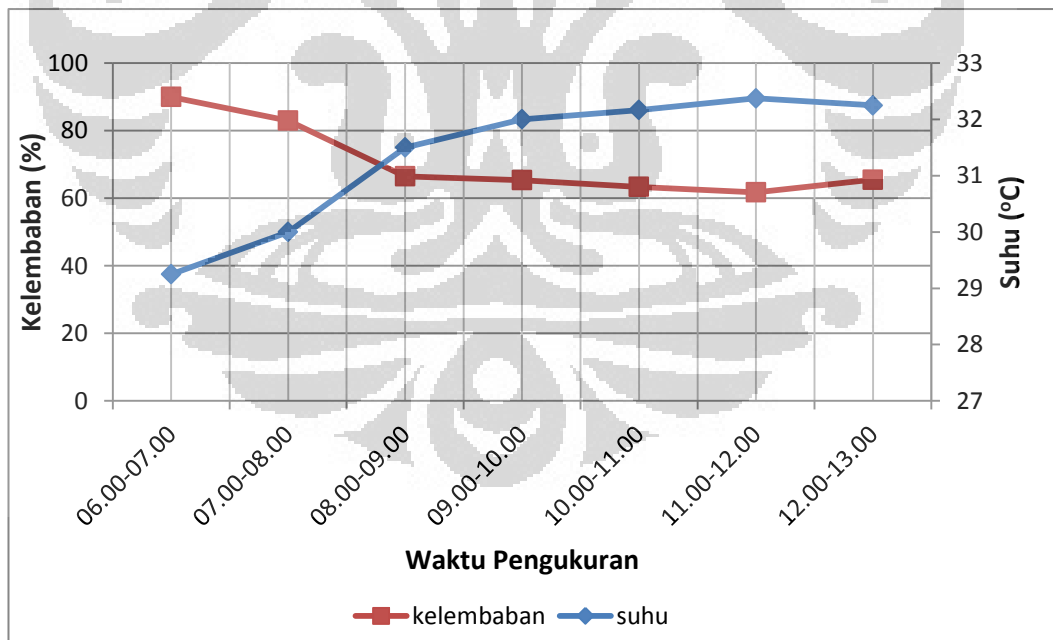
Kenaikan jumlah konsentrasi NO dan NO_2 pada pukul 12.00-13.00 tentu saja diakibatkan oleh jumlah penambahan kendaraan. Sekalipun jumlah total kendaraan mengalami kenaikan yang sangat kecil, yaitu 0,5 SMP, namun penambahan jumlah mobil pengangkut barang bermesin diesel naik sampai sebesar 32 SMP. Kenaikan jumlah kendaraan pengangkut barang bermesin diesel diduga kuat menaikkan konsentrasi NO . Sedangkan kenaikan jumlah NO_2 tentu saja merupakan hasil dari oksidasi NO .

5.4.4 Rabu, 27 April 2011

Berikut adalah grafik konsentrasi NO dan NO_2 , jumlah kendaraan, suhu, serta kelembaban yang diperoleh dari hasil pengukuran hari keempat:



Gambar 5.13. Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi NO dan NO₂ pada Gardu no. 14 Rabu, 27 April 2011



Gambar 5.14. Grafik Fluktuasi Kelembaban dan Suhu pada Gardu no 14 Rabu, 27 April 2011

Data yang diperoleh pada hari keempat, terhitung mulai pukul 08.00-09.00 sampai pada 11.00-12.00 grafik konsentrasi NO dan NO₂ mengalami kesamaan fluktuasi dengan jumlah total kendaraan. Perbedaan terletak hanya pada pukul 12.00-13.00. Pada jam tersebut awan terlihat mendung yang disertai dengan kilatan cahaya petir di udara. Terlihat pada grafik suhu dan kelembaban, suhu mengalami penurunan sedangkan kelembaban mengalami peningkatan. Konsentrasi NO meningkat karena adanya reaksi yang ditimbulkan oleh petir di udara. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Pada saat matahari terhalang oleh awan, NO₂ tidak dapat mengalami fotodisosiasi seperti pada reaksi [5.1], sehingga jumlah NO₂ tidak mengalami penurunan.

Pada pukul 09.00-10.00 terlihat bahwa jumlah kendaraan naik dengan jumlah yang cukup besar, yaitu sebesar 51 SMP. Kenaikan kendaraan didominasi oleh kenaikan jumlah kendaraan pengangkut barang bermesin diesel. Namun kenaikan konsentrasi NO dan NO₂ tidak terlihat begitu besar, terkhusus pencemar NO. Fenomena ini dapat terjadi oleh karena adanya angin yang cukup besar pada jam tersebut.

Terbukti pada pukul 09.00-10.00 terdapat perbedaan suhu yang cukup signifikan. Pembacaan nilai suhu pada jam ini dilakukan setiap 15 menit sebanyak 3 kali. Suhu yang terukur adalah sebesar 31°C, 31,5 °C dan 33,5 °C. Sehingga angin yang bertiup pada pintu tol menyebabkan NO atau NO₂ yang diemisikan oleh kendaraan dengan segera terbawa angin sebelum dapat memasuki alat *impinger*.

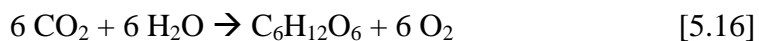
5.5 Perbandingan konsentrasi NO_x

5.5.1 Perbandingan konsentrasi NO dan NO₂ pada 4 hari Pengukuran

Dari data konsentrasi yang didapat pada keempat harinya, didapati bahwa konsentrasi NO₂ selalu berada lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi NO, kecuali pada hari Rabu, 6 April 2011 pukul 09.00-10.00. Fenomena ini diduga terjadi karena beberapa hal berikut:

- Pada area pintu tol terdapat konsentrasi O₂ yang tinggi oleh kehadiran pohon.

Pada sisi kiri tol tempat pengambilan sampel terdapat pepohonan yang lebat. Pepohonan tersebut tentunya mengalami proses fotosintesis selama ada sinar matahari dan akan menghasilkan O_2 dengan reaksi sebagai berikut:



Kemudian O_2 yang terbentuk akan segera bereaksi dengan O membentuk O_3 . Ozon (O_3) tersebut akan mengoksidasi NO menjadi NO_2 , seperti pada reaksi [5.2] dan [5.3]



Gambar 5.15. Pohon pada Area Pengambilan Sampel

(Sumber: www.wikimapia.com)

- Berat molekul

Setiap gas memiliki berat molekul masing-masing. Gravitasi akan menarik setiap benda yang memiliki berat jatuh ke bumi. Lebih besarnya jumlah NO_2 yang tertangkap oleh *impinger* mungkin juga disebabkan oleh berat molekul NO_2 yang lebih besar dibanding NO. NO yang dikeluarkan oleh gas buangan kendaraan ke udara memiliki berat molekul sebesar 30 g/mol. NO akan bertemu dengan senyawa-senyawa lain yang memiliki berat molekul yang lebih besar, seperti CO_2 (MR=44), O_2 (MR=32), N_2O (MR=44), O_3 (M=48) dan senyawa-senyawa lainnya. Karena NO lebih ringan dari banyak senyawa lainnya, maka polutan ini naik menjauhi permukaan bumi.

5.5.2 Perbandingan Konsentrasi NO_x dengan Jumlah Kendaraan Total di hari II, III, dan IV

Tabel 5.7. Perbandingan Jumlah Kendaraan Total dengan Konsentrasi NO_x di hari II, III, dan IV

Pukul	Hari II		Hari III		Hari IV	
	Jumlah Kendaraan (SMP)	Kons NO _x (µg/m ³)	Jumlah Kendaraan (SMP)	Kons NO _x (µg/m ³)	Jumlah Kendaraan (SMP)	Kons NO _x (µg/m ³)
06.00-07.00	367	59.00283	239	133.5364	408.5	123.4908
07.00-08.00	277	55.83386	291.5	92.46298	400.5	
08.00-09.00	297	56.03841	334.5	99.70772	340.5	125.0229
09.00-10.00	264	105.1877	397	142.2241	391.5	155.9157
10.00-11.00	225	46.54379	336	91.50141	388.5	121.3614
11.00-12.00	239	79.54592	328.5	75.78991	365.5	107.674
12.00-13.00	171	54.26022	329	101.9374	348	135.0833

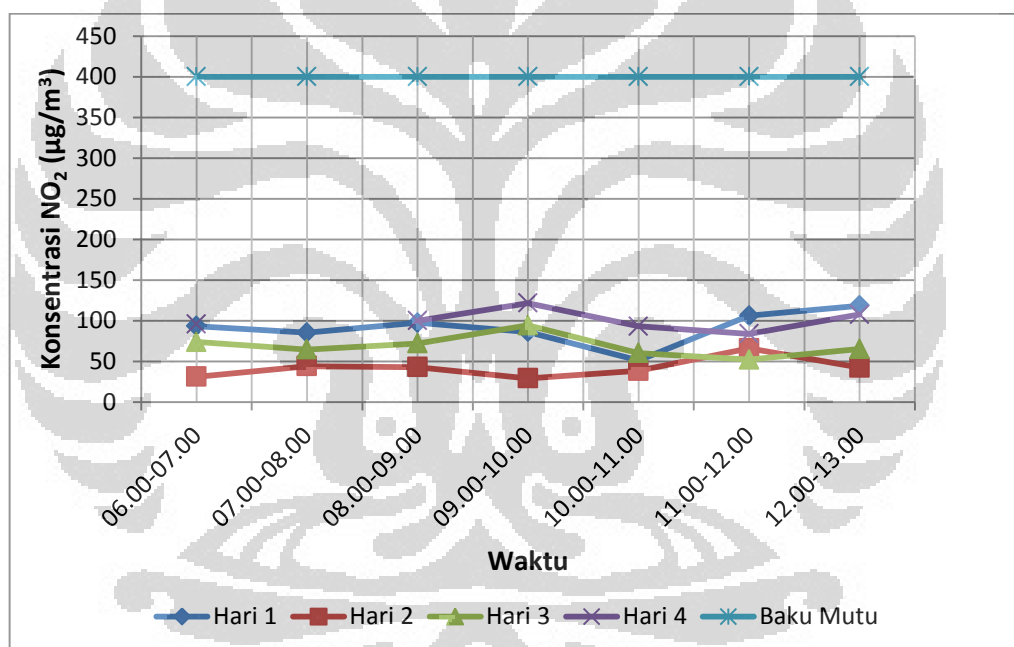
Bila dikaitkan antara konsentrasi NO_x pada ketiga hari pengamatan terakhir dengan jumlah kendaraan pada masing-masing hari tersebut, maka didapati bahwa hanya ada 1 hari dimana konsentrasi NO_x mencapai puncak disertai dengan volume puncak kendaraan pada hari tersebut, yaitu pada hari Rabu, Sabtu, 23 April 2011. Hasil ini membuktikan bahwa hipotesa konsentrasi NO_x mencapai puncak pada saat kendaraan berada pada volume tertinggi adalah salah.

5.5.3 Perbandingan Konsentrasi NO₂ dengan Standar Baku Mutu Indonesia

Dari keseluruhan konsentrasi NO₂ yang diambil selama 4 hari, tercatat bahwa konsentrasi tertinggi terjadi pada hari Rabu, 27 April pada pukul 09.00-10.00, yaitu sebesar 121,635 µg/m³. Angka tersebut dapat dikatakan masih berada di bawah konsentrasi standar baku mutu pencemar NO₂. PP no 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara menetapkan bahwa standar baku mutu konsentrasi NO₂ pada udara ambien di Indonesia adalah 400 µg/m³. Berikut adalah tabel dan grafik perbandingan antara konsentrasi NO₂ di keempat hari penelitian dan konsentrasi baku mutu NO₂ di Indonesia.

Tabel 5.8. Perbandingan Konsentrasi NO₂ pada 4 hari Pengamatan dengan Standar Baku Mutu Konsentrasi NO₂ di Indonesia

Pukul	Konsentrasi NO ₂ (µg/m ³)				Baku Mutu
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	
06.00-07.00	93.42	31.18	73.95	95.90	400
07.00-08.00	85.41	44.23	64.65		400
08.00-09.00	97.49	42.97	72.23	99.99	400
09.00-10.00	86.40	29.32	94.31	121.63	400
10.00-11.00	51.02	38.50	60.38	93.25	400
11.00-12.00	106.16	66.10	52.20	83.98	400
12.00-13.00	118.62	42.38	65.33	107.78	400



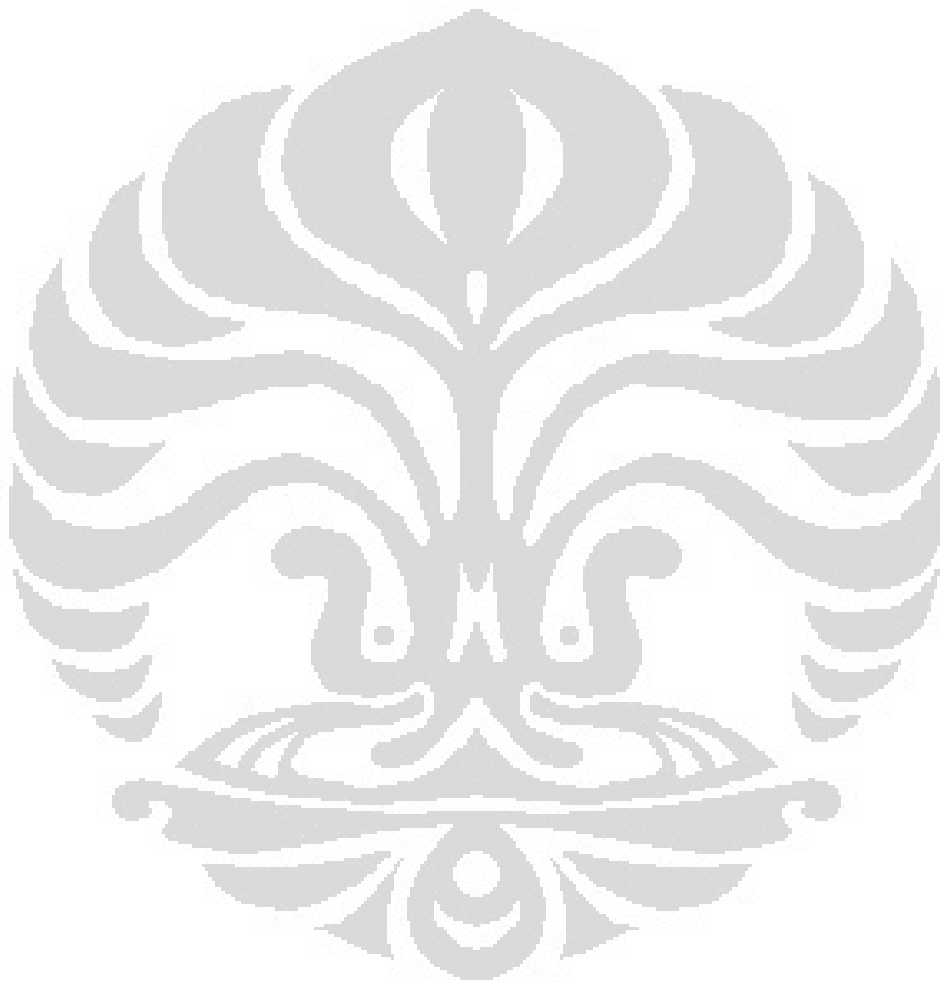
Gambar 5.16. Grafik Perbandingan Konsentrasi NO₂ pada 4 hari Pengamatan dengan Standar Baku Mutu Konsentrasi NO₂ di Indonesia

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa konsentrasi pencemar udara dengan parameter NO₂ di udara ambien pada pintu tol Cililitan masih memenuhi standar baku mutu di Indonesia. Hasil ini telah membuktikan bahwa hipotesa konsentrasi NO_x pada pintu tol tidak melebihi baku mutu yang terdapat pada PP No.41 tahun 1999 adalah benar.

5.5.4 Perbandingan dengan Hasil Penelitian Lain

5.5.4.1 Perbandingan dengan Hasil Penelitian PT. Jasa Marga

Penelitian terhadap pencemaran udara di area pintu tol juga dilakukan oleh PT. Jasa Marga bekerja sama dengan PT. Azra Mitra Utama. Pengambilan data dilakukan selama bulan Oktober hingga November 2010.



Tabel 5.9. Hasil Pengukuran Kualitas Udara oleh PT. Jasa Marga bulan Oktober
s/d November 2010 pada 15 Titik Lokasi Pengamatan

No.	Lokasi Pengamatan	CO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Pb $\mu\text{g}/\text{m}^3$	O ₃ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	HC $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Debu $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Baku Mutu	30	900	400	2	235	160	230
1	GT Tomang (sore)	10,753	110,7	125,43	0,010	31,37	428,90	234,53
2	GT Semanggi II (sore)	9,818	75,62	100,35	0,0226	21,81	384,70	224,25
3	GT Halim II (sore)	4,809	72,61	92,63	0,010	19,15	128,90	219,5
4	GT Kapuk KM	229	54,28	95,69	<0,00001	10,97	70,20	176,19
5	GT Cengkareng (pagi)	7,900,50	91,53	105,26	0,0078	32,11	344,20	228,23
6	Pemukiman (Rawa Bokor, Tangerang)	<114,5	45,84	92,16	<0,00001	11,12	4,50	166,45
7	GT Cengkareng (sore)	8,244	134,12	92,16	0,0064	37,06	361,30	220,41
8	GT Pluit I (sore)	4,809	52,15	81,42	0,0051	10,97	142,60	201,67
9	Interchange Semanggi	4,236	134,12	92,16	0,0013	37,06	102,70	212,27
10	GT Halim II (pagi)	4,215365	52,15	68,14	0,0051	10,45	145,80	214,19
11	GT Tomang (pagi)	7,328	134,12	133,29	0,003	13,12	350,40	244,62
12	GT Pluit I (pagi)	3,549	79,78	87,35	0,0016	9,12	114,20	195,19
13	Kantor CTC/Cililitan	114,5	82,67	76,76	0,002	9,48	8,58	197,79
14	Jl. Tol Cawang	3,893	79,32	99,9	0,0016	8,01	102,1	205,11
15	GT Semanggi II	6,461	116,65	128,36	0,0079	11,58	231,5	228,55

Sumber: Executive Summary Evaluasi Implementasi RKL dan RPL Jalan Tol CTC Semester II, 2010 hlm.12

Pengambilan sampel udara untuk Kantor CTC/Cililitan dilakukan pada tanggal 2 November 2010 pukul 07.30-08.30. Lokasi pengambilan yaitu di

halaman kantor CTC pinggir jalan tol Km 01+200. Hasil yang diperoleh berdasarkan pengukuran terhadap pencemar NO₂ adalah sebesar 76,76 µg/m³ dengan suhu sebesar 30,5°C dan kelembaban sebesar 68,5%.

Tabel 5.10. Perbandingan Konsentrasi NO₂ 4 hari Pengamatan dengan Data Konsentrasi NO₂ yang diperoleh dari Pengukuran PT. Jasa Marga

Pukul	Konsentrasi NO ₂ (µg/m ³)				PT. Jasa Marga (07.30-08.30)
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	
07.00-08.00	85,41	44,23	64,65		76,76
08.00-09.00	97,49	42,97	72,22	99,99	

Pengukuran konsentrasi NO₂ yang diselenggarakan oleh PT. Jasa Marga memberikan hasil yang tidak cukup berbeda dengan hasil yang didapat pada penelitian ini. Hasil ini cukup membuktikan bahwa penelitian yang dilakukan mendekati kebenaran. Perbedaan nilai di setiap hari pengukuran disebabkan oleh jumlah kendaraan yang melintas, konsentrasi NO_x yang diemisikan oleh setiap jenis kendaraan, dan juga faktor meteorologis, seperti yang telah dijelaskan pada analisa sebelumnya.

5.5.4.2 Perbandingan dengan Hasil Penelitian KLH

Pada bulan April 2004-Desember 2005 KLH mengadakan pengukuran konsentrasi pencemaran udara di beberapa titik di Jakarta dengan beberapa parameter pencemar yaitu SO₂, NO₂, NO_x, Pb, TSP, dan CO. Tidak diketahui berapa kali pengukuran yang dilakukan oleh pihak KLH terhadap konsentrasi NO₂ dan NO_x, data yang diperoleh sudah berupa rata-rata dari keseluruhan hari pengukuran.

Tabel 5.11. Hasil Pengukuran Konsentrasi NO₂ dan NO_x yang dilakukan KLH pada bulan April 2004-Desember 2005

No	Lokasi	NO ₂ (ppb)	NO _x (ppb)	No	Lokasi	NO ₂ (ppb)	NO _x (ppb)
1	Cilincing	14	30	12	Kemayoran	18	50
2	Ancol	20	60	13	Jasa Marga	42	330
3	Istiqlal	23	75	14	KLH	34	175
4	Pulo Gadung	22	60	15	Trisakti	33	140
5	Asrama Haji	19	50	16	Ciledug	20	45
6	Jagakarsa	10	20	17	BMG	13	25
7	Kalideres	14	40	18	Deptan	17	55
8	IPAK	16	45	19	Bunderan HI	24	175
9	Tebet	22	55	20	Sarpedal	8	10
10	Gandaria	21	55	21	Tp Anggrek	13	25
11	Senayan	24	65				

Sumber: <http://www.menlh.go.id>

Data tersebut akan dicoba dibandingkan dengan data hasil penelitian ini. Karena data yang disajikan laporan KLH merupakan data dalam satuan *part per billion* (ppb), maka satuan pada data penelitian ini terlebih dahulu dilakukan konversi dari $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi ppb dengan rumus sebagai berikut:

$$ppb = \frac{(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times (273,15 + T)}{(12,187 \times MW)}$$

Tabel 5.12. Hasil Konversi Satuan Konsentrasi NO₂ dan NO_x 4 hari Pengamatan dari $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ke *part per billion* (ppb)

Pukul	Konsentrasi (ppb)							
	Hari 1		Hari 2		Hari 3		Hari 4	
	NO ₂	NO _x	NO ₂	NO _x	NO ₂	NO _x	NO ₂	NO _x
06.00-07.00	173,16	214,20	57,54	91,03	138,30	210,97	177,79	211,14
07.00-08.00	158,00	199,42	81,39	95,32	120,54	154,36		
08.00-09.00	179,28	201,48	78,65	94,25	133,92	167,15	184,00	214,04
09.00-10.00	158,15	219,90	53,49	143,76	174,01	231,66	223,46	264,53
10.00-11.00	93,04	110,86	70,07	79,62	111,38	148,82	171,22	204,88
11.00-12.00	192,57	256,20	120,15	136,09	95,81	124,06	154,10	182,45
12.00-13.00	214,41	253,97	76,66	90,68	119,66	163,37	197,85	230,53

Dari data NO_2 yang diambil pada 21 titik lokasi pengukuran, tidak ada satupun data yang melebihi konsentrasi NO_2 pada pintu tol Cililitan. Konsentrasi maksimum diperoleh KLH di lokasi Jasa Marga, yaitu sebesar 42 ppb. Begitu juga pada konsentrasi NO_x , hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa NO_x yang tertinggi terdapat di kawasan Jasa Marga, yaitu sebesar 330 ppb. Angka ini bahkan melebihi seluruh konsentrasi NO_x pada penelitian ini. Data yang diperoleh pada penelitian ini memperkuat data yang dikeluarkan KLH tentang tingginya konsentrasi NO_x di area tol. Kedua data ini menyatakan bahwa kawasan tol adalah kawasan yang memiliki konsentrasi pencemaran udara tertinggi dibanding kawasan lainnya.

Konsentrasi NO_x terendah yang diperoleh pada penelitian ini terjadi pada hari Rabu, 6 April 2011 pada pukul 10.00-11.00, yaitu sebesar 79,62 ppb. Lokasi yang memiliki konsentrasi NO_x di atas nilai tersebut adalah KLH, Trisakti, dan Bunderan HI dengan konsentrasi NO_x sebesar 175 ppb, 140 ppb, 175 ppb. Ketiga kawasan ini merupakan kawasan yang perlu diwaspadai dan diberikan perhatian khusus oleh pemerintah setempat, mengingat konsentrasi NO_x yang menyentuh nilai konsentrasi NO_x di jalan tol. Ironisnya, salah satu lokasi yang memiliki tingkat konsentrasi NO_x yang tertinggi di Jakarta adalah tempat berkumpulnya para cendekiawan yang memikirkan nasib lingkungan hidup di Indonesia.

5.6 Analisis Risiko

Berbagai penelitian terhadap sebuah parameter pencemaran umumnya didasarkan pada seberapa pengaruh pencemar tersebut terhadap kesehatan manusia. Semakin besar dampak dari sebuah parameter pencemar terhadap kesehatan makhluk hidup, terkhusus manusia, maka akan semakin besar perhatian yang tertuju kepada pencemar tersebut. NO_x merupakan parameter pencemar udara yang memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan manusia. Karena itu penting sekali untuk mengaitkan hasil penelitian yang telah didapat dengan kemungkinan terjadinya risiko gangguan kesehatan terhadap para pekerja pengumpul tol.

Bidang ilmu kesehatan menyatakan tingkat risiko paparan sebuah parameter pencemar terhadap kesehatan manusia sebagai RQ (*Risk Quotient*). Bila diperoleh $\text{RQ} > 1$ maka analisis risiko dinyatakan ada dan perlu dikendalikan.

Perhitungan RQ melibatkan asupan inhalasi (I) dan juga dosis referensi (RfC) dengan rumus sebagai berikut:

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfC} \quad [5.17]$$

Asupan inhalasi ditentukan melalui pengolahan dengan data yang diperoleh di lapangan terkait dengan manusia yang terkena dampak dari pencemar NO_x. Namun karena IRIS hanya mengeluarkan nilai RfC untuk NO₂, maka perhitungan analisis risiko hanya akan dilakukan terhadap parameter NO₂. Berikut adalah persamaan yang digunakan:

$$I_{nk} = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \quad [5.18]$$

Keterangan:

- I_{nk} = asupan inhalasi yang dicari
- C = konsentrasi NO₂
Konsentrasi NO₂ diperoleh melalui data primer. Konsentrasi yang digunakan merupakan konsentrasi NO₂ rata-rata dari 4 hari pengambilan sampel udara, yaitu sebesar 74,77 μg/m³ = 0,07477 mg/m³.
- R = laju inhalasi (m³/jam)
Exposure Factor Handbook yang dikeluarkan EPA (1990) menetapkan standar laju inhalsi untuk orang dewasa adalah 20M³/ hari. Karena pajanan tidak terjadi selama 1 hari penuh, maka satuan tersebut dikonversi ke dalam satuan M³/jam, sehingga dihasilkan nilai R = 0,83 m³/jam.
- t_E = lama pajanan (jam/hari)
Shift pekerja pagi dimulai pukul 05.00-13.00, durasi 8 jam/hari (data diperoleh melalui hasil wawancara kepala petugas pengumpul tol)
- f_E = frekuensi pajanan
Jumlah hari pekerja dalam 1 tahun yaitu 5 hari x 48 minggu = 240 hari/tahun.
- D_t = durasi pajanan
Berdasarkan hasil wawancara diperoleh bahwa pekerja *outsourcing* bekerja maksimal selama 2 tahun dan pekerja tetap ada yang sudah

mencapai 2 tahun. Dengan pertimbangan ini maka durasi pajanan ditetapkan dengan variasi 2, 5, 10, 15, 20, dan 25 tahun.

- W_b = berat badan individu (kg)
Berdasarkan pengamatan di lapangan, petugas pengumpul tol didominasi wanita dengan tubuh yang proporsional (tidak gemuk dan terlalu kurus). Karena itu untuk berat badan digunakan variasi berat sebesar, 40, 45, 50, 55, 60, dan 65 kg.
- T_{avg} = periode waktu rata-rata (30 tahun x 365 hari/tahun untuk zat non karsinogenik)
- RfC = nilai dosis referensi untuk NO_2 adalah sebesar 0,02 mg/kg/hr

Tabel 5.13. Hasil Perhitungan *Risk Quotient* untuk Masing-masing Variasi Berat Badan dan Durasi Pajanan

Durasi Pajanan (tahun)	Berat (kg)					
	40	45	50	55	60	65
2	0,039672	0,035264	0,031738	0,028853	0,026448	0,024414
5	0,099181	0,088161	0,079345	0,072132	0,066121	0,061035
10	0,198362	0,176322	0,15869	0,144264	0,132242	0,122069
15	0,297544	0,264483	0,238035	0,216395	0,198362	0,183104
20	0,396725	0,352644	0,31738	0,288527	0,264483	0,244138
25	0,495906	0,440805	0,396725	0,60659	0,330604	0,305173

Dari tabel di atas telah dibuktikan bahwa tidak ada nilai RQ yang mencapai lebih dari angka 1. Angka risiko yang paling mendekati nilai 1 diterima oleh pekerja dengan berat 40 kg dengan waktu kerja selama 25 tahun, yaitu sebesar 0,495. Bisa disimpulkan bahwa dengan rata-rata pencemaran yang disebabkan oleh parameter NO_2 di pintu tol, setiap pekerja pengumpul tol tidak akan mengalami risiko kesehatan. Namun pada prinsipnya, pengendalian tetap harus dilakukan untuk mereduksi nilai RQ yang ada. Hasil ini membuktikan bahwa hipotesa risiko kesehatan terhadap pekerja pengumpul tol ada dan perlu dikendalikan adalah salah.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari pembahasan dan analisa yang telah dilakukan sebelumnya, maka didapati beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Nilai maksimum dari konsentrasi NO_x pada penelitian ini adalah sebesar $159,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NO sebesar $59,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan NO_2 sebesar $121,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- b. Korelasi yang didapat antara volume kendaraan dengan konsentrasi NO dan NO_2 ada yang dikategorikan sebagai korelasi yang kuat dan ada juga yang dikategorikan sangat lemah. Untuk korelasi yang sangat lemah dapat disebabkan oleh dua alasan utama. Alasan yang pertama disebabkan oleh jarak antar gardu yang terlalu dekat sehingga menyebabkan konsentrasi NO_x yang diemisikan kendaraan pada gardu lain ikut terukur. Alasan kedua adalah karena adanya faktor meteorologis, seperti angin, suhu, dan kelembaban.
- c. Jenis kendaraan yang memberikan kontribusi terbesar terhadap pencemar NO_x di udara ambien adalah kendaraan bermotor penarik atau gandengan atau tempel.
- d. Konsentrasi NO_2 pada udara ambien di pintu tol Cililitan masih berada di bawah standar baku mutu yang ditetapkan oleh PP no. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Konsentrasi maksimum NO_2 yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebesar $121,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yaitu pada pukul 09.00-10.00 hari Rabu, 27 April 2011 dengan kondisi cuaca cerah.
- e. Risiko kesehatan akibat paparan pencemar NO_2 terhadap pekerja pengumpul tol dinyatakan tidak ada. Tingkat risiko kesehatan dikatakan ada dan perlu bila *Risk Quotient* (RQ) melebihi angka 1. Dari hasil perhitungan didapati bahwa seseorang dengan berat badan 40 kg bekerja selama 25 tahun di pintu tol hanya akan terkena nilai RQ sebesar 0,49.

6.2 Saran

Berikut adalah saran-saran yang dapat diberikan:

- a. Usaha pengendalian pencemaran udara di pintu tol sudah dilakukan oleh pihak PT. Jasa Marga, seperti penanaman pohon, penggunaan AC di gardu tol, dan juga pemberian alat pelindung diri berupa masker. Di samping itu, usaha-usaha yang mungkin dilakukan oleh pihak pengelola tol adalah sebagai berikut:
 - Memperbanyak gardu *e-toll* sehingga dapat mengurangi pekerja yang harus bekerja di gardu tol.
 - Menerapkan rotasi pekerjaan antara pekerja yang bekerja di pintu tol dan pekerja yang berada di dalam kantor.
- b. Untuk pihak pemerintah yaitu melakukan uji emisi dengan ketat terhadap kendaraan bermesin diesel, terkhusus untuk kendaraan pengangkut barang, mengingat pintu tol Cililitan banyak dilalui kendaraan pengangkut barang yang menuju pelabuhan (Angke) ataupun bandara (Cengkareng).
- c. Untuk penelitian serupa, sebaiknya dilakukan juga pengukuran terhadap parameter pencemar lain yang mudah sekali bereaksi dengan NO ataupun NO₂, seperti ozon (O₃).

DAFTAR PUSTAKA

- AP-67: "Control Techniques for Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources," National Air Pollution Control Administration, Publication AP-67, 1970.
- ATSDR. (2002). *Nitrogen Oxides (nitric oxide, nitrogen dioxide, etc.) CAS #10102-43-9 (nitric oxide); CAS #10102-44-0 (nitrogen dioxide)*. <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts175.pdf>
- ATSDR. (2005). ATSDR Public Health Assessment Guidance Manual. Agency for Toxic Substances and Drugs Registry. <http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/PHAManual>
- Badan Perencanaan Daerah DKI Jakarta. (2011). <http://www.bappedajakarta.go.id/artikel.asp?id=262>
- Bainar. (2004, Agustus). Studi Penggunaan Statistika dalam Karya Ilmiah Mahasiswa Strata 1 (S-1). Jakarta: STIE Swadaya. Makara, Sosial Humaniora, Vol. 8, No.2.
- BPLHD Jakarta. (2010). Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta. http://bplhd.jakarta.go.id/01_udarabersih.php. Diakses tanggal 07 Desember 2011
- Direktorat General Bina Marga. (1997). *Highway Capacity Manual*. Indonesia: PT. Bina Karya Persero.
- Fricker, Jon D. & Whitford, Robert K. (2004). *Fundamentals of Transportation Engineering*. Prentice Hall. United States of America: Pearson Education Inc.
- Giddings, J.S. (1973) . *Chemistry, Man and Environmental Change*. New York Candfield Press.
- Heihnson, R.J & Kabel, R.L. (1999). *Sources and Control of Air Pollution*. Prentice-Hall, Inc.
- http://www.crayonpedia.org/mw/Fotosintesis_12.1
- http://www.jasamarga.com/en_/release/item/78-jasa-marga-siapkan-gto-bagi-pengguna-e-toll-card.html Diakses tanggal 22 September 2011.

<http://www.smartstat.info/tutorial/microsoft-excel/tutorial-excel-regresi-linier-berganda.html>

IPCS. 2004. *Risk Assessment Terminology, Part 1: IPCS/OECD Key generic Terms Used in Chemical Hazard/Risk Assessment; Part 2: IPCS Glossary of Key Exposure Assessment Terminology*. Geneva: World Health Organization and International Programme on Chemical Safety. <http://www.inchem.org/documents/hatmproj/hamproj1.pdf>

IRIS. (2007). Integrated Risk Information System List of Substance. US Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/iris/subst/index.html>

Jasa Marga. (2010). Laporan triwulan PT Jasa Marga Cabang CTC bulan Juli s/d September 2010.

Jasa Marga. (2010). Evaluasi Implementasi RKL dan RPL Jalan Tol Cawang Tomang Cengkareng Semester II Tahun 2010.

Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2005). *Laporan Status Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 5 : Udara dan Atmosfer*. <http://www.menlh.go.id>. Diakses 22 September 2011

Listanti, Astri. (2007). *Analisis Risiko Gangguan Kesehatan pada Pedagang Kaki Lima (PKL) yang terpajan oleh Nitrogen Dioksida (NO₂) udara Ambien di Terminal Bus Pasar Senen, Jakarta Pusat tahun 2007*. Skripsi SKM. Depok: FKM-UI.

Litbang Pertahanan Indonesia. (2001, Desember). STT No. 2289 Volume VI, No. 7. <http://buletinlitbang.dephan.go.id/index.asp?mnorutisi=8&vnomor=7>

Louvar, J.F., & Louvar, B.D. (1998). *Health and Environmental Risk Analysis: Fundamental with Application*. New Jersey: Prentice Hall.

Manahan, S.E. (2005). *Environmental Chemistry 8th Edition*. New York: CRC Press.

Merker GP, Schwarz C, Teichmann R (2009). Combustion Engine Development. *Mixture Formation, Combustion, Emissions and Simulation*. Teubner, Wiesbaden: Springer.

Miller J.A, Bowman C.T. (1989). Mechanism and modeling of nitrogen chemistry in combustion. *Prog Energy Combust Sci* 15:287–338

Miller, G. Tyler, J.R. (1992). *Living in The Environment, third edition*. California: Wadsworth Publishing Co.

- Nevers, Noel de. (1995). *Air Pollution Control Engineering*. Singapore: McGraw Hill.
- Peavy, Howard S, Rowe, Donald R, Tchobanoglous, George. 1985. *Environmental Engineering*. Singapore: McGraw Hill Inc.
- Peraturan Daerah Provinsi Lampung No. 4 Tahun 1994 Perubahan Pertama Peraturan Daerah Propinsi Daerah Tingkat I Lampung Nomor 1 Tahun 1992 Tentang Pajak Kendaraan Bermotor.
- Peraturan Menteri dalam Negeri No. 23 tahun 2011 tentang Penghitungan Dasar Pengenaan Pajak Kendaraan Bermotor dan Bea Balik Nama Kendaraan Bermotor.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.
- Peraturan Menteri Perhubungan No. 14 Tahun 2006 tentang Manajemen Dan Rekayasa Lalu Lintas Di Jalan.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 43 Tahun 1993 tentang Prasarana dan Lalu Lintas Jalan.
- Perkins, Henry C.(1974). *Air Pollution*. Tokyo: McGraw Hill.
- Rahman, A. (2010). *Prinsip-Prinsip Dasar dan Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan*, Depok, FKM-UI.
- Rima, Yunita D. 2004. *Studi Kualitas Udara di Persimpangan Jalan Berkaitan dengan Antrian Kendaraan Bermotor di Kota Padang*. Tesis Magister Ilmu Lingkungan UNDIP. Semarang, UNDIP.
- Ruth, E. (2010). *Analisa Tingkat Kebisingan Sekolah Di Sekitar Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta Akibat Pesawat Yang Melintas*. Studi kasus SMP Padindi Kamal, Kalideres. Skripsi Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Smoot, D. (2000). Modeling of nitrogen oxides formation and destruction in combustion system. *Progress in Energy and Combustion Science* 26, 417-458. www.elsevier.com/locate/peccs
- Soedomo, Moestikahadi. (1999). *Kumpulan Karya Ilmiah Mengenai Pencemaran Udara*. Bandung: Penerbit ITB.

SNI (2005) 19-7119.2-2005 Udara ambien – Bagian 2: Cara Uji Kadar Nitrogen Dioksida (NO₂) dengan metode *Griess Saltzman* menggunakan spektrofotometer.

SNI (2002) 09-1825-2002 tentang Penggolongan / Pengklasifikasian Kendaraan sebagai revisi Penggolongan / Pengklasifikasian Kendaraan SNI 09-1825-1990.

<http://www.attayaya.net/2010/11/golongan-jenis-kendaraan-bermotor.html>

Sugiarto, B. (2005). *Mesin Pembakaran Dalam*: DTM FTUI.

Undang-Undang No. 14 Tahun 1992 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan.

U.S.EPA.(1990, Maret).*Exposure Factors Handbook*,EPA 600/8-89/043:US Environmental Protection Agency.<http://rais/ornl.gov/documents/EFH1989EPA600889043.pdf>.

US EPA. (1999). EPA 456/F-99-006R. *Technical Bulletin. Nitrogen Oxides (NO_x), Why and How they are controlled*. Prepared by Clean Air Technology Center. Diakses 22 September 2011. www.epa.gov/ttn/catc/dir1/fnoxdoc.pdf

WHO Working Group. (2003, 13-15 Januari). *Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone, and Nitrogen Dioxide*. Bonn, Germany: WHO.

Wiyandari, M. (2010). *Hubungan Volume Kendaraan terhadap Konsentrasi Polutan NO_x di Udara (Studi Kasus: Jalan Margonda Raya Depok)*. Skripsi Fakultas Teknik Universitas Indonesia

World Bank Group. (1998, July). *Pollution Prevention and Abatement Handbook*. 223-226.

www.autoshop101.com/forms/h55.pdf. Diakses 22 September 2011

YLKI. (2011, November 18). *Polusi Udara dan Energi Ramah Lingkungan*. Majalah Warta Konsumen.

LAMPIRAN

(Lampiran dapat dilihat pada file: Lampiran.docx/Lampiran.pdf)

