



UNIVERSITAS INDONESIA

**Analisis Pengaruh Tingkat Volume Lalu Lintas Kendaraan di
Pintu Tol Terhadap Tingkat Konsentrasi *Total Suspended
Particulate* (TSP) dan Pengukuran Konsentrasi Timbal di Udara
Ambien (Studi Kasus : Pintu Tol Cillilitan 2, Bulan Januari-
Februari 2011)**

SKRIPSI

DEWI APRIANTI

0706275536

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**Analisis Pengaruh Tingkat Volume Lalu Lintas Kendaraan di
Pintu Tol Terhadap Tingkat Konsentrasi *Total Suspended
Particulate* (TSP) dan Pengukuran Konsentrasi Timbal di Udara
Ambien (Studi Kasus : Pintu Tol Cililitan 2, Bulan Januari-
Februari 2011)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

DEWI APRIANTI

0706275536

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



UNIVERSITY OF INDONESIA

**Influence Analysis of Vehicles Traffic Volume Level at Highway
Gate to Concentration of Total Suspended Particulate (TSP) Level
and Measurement of Lead Concentration in Ambient Air (Case
Study : Cililitan 2 Gate Highway, January-February 2011)**

FINAL REPORT

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

DEWI APRIANTI

0706275536

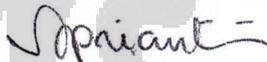
**FACULTY OF ENGINEERING
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JUNE 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Dewi Aprianti

NPM : 0706275536

Tanda Tangan : 

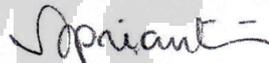
Tanggal : 14 Juni 2011

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 : Dewi Aprianti

NPM : 0706275536

Signature : 

Date : 14th June. 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Dewi Aprianti

NPM : 0706275536

Program Studi : Teknik Lingkungan

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Tingkat Volume Lalu Lintas Kendaraan di Pintu Tol Terhadap Tingkat Konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) dan Pengukuran Konsentrasi Timbal di Udara Ambien (Studi Kasus : Pintu Tol Cililitan 2, Januari-Februari 2011)

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 Kristanto, M.Eng, Ph.D.

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

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

Penguji : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, S.E, M.Eng.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 14 Juni 2011

STATEMENT OF LEGITIMATION

This final report submitted by:

Name : Dewi Aprianti

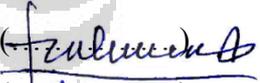
NPM : 0706275536

Majoring : Environmental Engineering

Title : Influence Analysis of Vehicles Traffic Volume Level at Highway Gate to Concentration of Total Suspended Particulate (TSP) Level and Measurement of Lead Concentration in Ambient Air (Case Study : Cililitan 2 Gate Highway, January-February 2011)

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. Ir. Djoko M. Hartono, S.E, M.Eng. ()

Decided at : Depok

Date : June 14th, 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh Tingkat Volume Lalu Lintas Kendaraan di Pintu Tol Terhadap Tingkat Konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) dan Pengukuran Konsentrasi Timbal pada Udara Ambien di Pintu Tol Cililitan” dengan baik dan tepat waktu.

Adapun tujuan disusunnya Skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana sesuai dengan kurikulum yang berlaku di Program Studi Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Selain itu, juga sebagai sarana pembelajaran dan pengembangan diri dalam menganalisis suatu permasalahan lingkungan yang terjadi di dunia nyata.

Tak lupa Penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ir. Gabriel S. B. Andari Kristanto, M.Eng, Ph.D selaku pembimbing I Skripsi
2. Dr.Ir.Setyo Sarwanto Moersidik, DEA selaku pembimbing II Skripsi
3. Keluarga yang telah banyak memberikan dukungan moril dan materil selama proses penelitian dan penyusunan Skripsi ini
4. Yudo Dewanto. Terimakasih atas semua dukungan, dorongan semangat, bantuan, warna dan cerita baru, serta peran aktif Honeybearnya yang mengambil bagian sangat penting.
5. Jevon Raditya sebagai partner dalam penelitian yang telah membantu proses perizinan, pengambilan sampel udara, dan *sharing* informasi.
6. Mirani Arlan, Prawira Adi Putra, dan teman-teman Teknik Lingkungan 2007 lainnya.
7. Mbak Licka dan Diah dari Laboratorium Teknik Penyehatan Lingkungan yang telah membantu dalam proses persiapan alat sampling udara.
8. Pak Leo dan Mbak Ratry dari bagian Pendidikan dan Pelatihan Pengembangan Sumber Daya Manusia kantor pusat PT Jasa Marga, Tbk

yang telah membantu dalam hal perizinan sampling udara di Pintu Tol Cililitan 2.

9. Bapak Zainal Arifin dari Kantor Cabang Jasa Marga Cawang Tomang Cengkareng.

10. Para Kasip dan petugas gardu Pintu Tol Cililitan 2, terimakasih atas kesediaannya berbagi informasi yang dibutuhkan dalam penelitian.

11. Serta semua pihak yang turut memberikan bantuan dalam proses penyusunan Skripsi ini yang tentu saja tidak dapat disebutkan satu per satu

Karena tanpa bantuan dan dukungan dari mereka semua, Penulis tidak dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan sebaik-baiknya.

Tak ada gading yang tak retak, sehingga tak ada satu hal apapun yang sempurna. Begitu juga dengan Skripsi ini yang mungkin saja masih terdapat kekurangan-kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan yang ada.

Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Dewi Aprianti

NPM : 0706275536

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:

Analisis Pengaruh Tingkat Volume Lalu Lintas Kendaraan di Pintu Tol Terhadap Tingkat Konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) dan Pengukuran Konsentrasi Timbal di Udara Ambien (Studi Kasus : Pintu Tol Cililitan 2, Bulan Januari-Februari 2011).

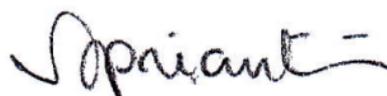
Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), dan merawat tugas akhir Saya selama tetap mencantumkan nama Saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini Saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 18 Juni 2011

Yang menyatakan,



(Dewi Aprianti)

ABSTRAK

Nama : Dewi Aprianti

Program Studi : Teknik Lingkungan

Judul : Analisis Pengaruh Tingkat Volume Lalu Lintas Kendaraan di Pintu Tol Terhadap Tingkat Konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) dan Pengukuran Konsentrasi Timbal di Udara Ambien (Studi Kasus : Pintu Tol Cililitan 2, Bulan Januari-Februari 2011).

Perkembangan aktivitas penduduk menyebabkan terjadinya peningkatan mobilisasi yang ditandai dengan adanya peningkatan jumlah kendaraan hingga mencapai suatu tingkat tertentu dimana laju pertumbuhan jalan tidak dapat mengimbangi laju pertumbuhan jumlah kendaraan yang terus meningkat sehingga terjadilah suatu permasalahan yang disebut sebagai kemacetan. Permasalahan tersebut banyak terjadi di kota-kota besar, khususnya di Kota Jakarta. Salah satu upaya untuk menyelesaikan permasalahan kemacetan yang terjadi adalah pembangunan jalan tol.

Ruas jalan tol memiliki sistem pembayaran tarif yang dilakukan pada pintu tol. Pada beberapa pintu tol tertentu, pembayaran tarif tol masih dilayani oleh petugas pintu tol, dimana petugas pintu tol ini bekerja secara rutin. Hal ini menyebabkan petugas pintu tol terpapar oleh emisi kendaraan bermotor. Salah satu diantaranya *Total Suspended Particulate* (TSP) yang dapat berdampak buruk bagi kesehatan manusia, seperti ISPA, Bronchitis kronis, penurunan fungsi paru-paru, serangan jantung minor, dan lain-lain. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengukuran terhadap besarnya konsentrasi TSP di sekitar pintu tol sehingga dapat dilakukan perhitungan tingkat resiko pemajanan TSP, yang dinyatakan dalam nilai *Risk Quotient*, terhadap kesehatan petugas pintu tol.

Pengendalian terhadap besarnya nilai konsentrasi TSP dapat dilakukan secara efektif dengan mengendalikan sumber yang paling mempengaruhi besarnya nilai yang terukur. Sumber utama penghasil TSP pada daerah sekitar pintu tol merupakan kendaraan bermotor, sehingga perlu dilakukan identifikasi jenis kendaraan bermotor mana yang paling mempengaruhi dan paling berkontribusi terhadap besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur.

Metode yang digunakan untuk pengukuran konsentrasi TSP adalah metode gravimetri dengan perangkat HVAS, dimana pengukuran dilakukan selama 7 jam, mulai dari pukul 06.00 hingga pukul 13.00. Metode pengolahan data yang digunakan adalah analisis deskriptif, metode regresi linier sederhana dan berganda serta Analisis Resiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Sedangkan, pengukuran konsentrasi timbal dilakukan dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

Hasil penelitian menunjukkan jenis kendaraan yang paling mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur di pintu tol Cililitan 2 adalah

kendaraan Golongan II yang merupakan Truk dengan dua gandar. Nilai koefisien determinasi R^2 antara volume kendaraan total dengan konsentrasi TSP sebesar 0,123, menandakan bahwa 12,3 % besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur dipengaruhi oleh besarnya volume kendaraan total, dan 87,7 % sisanya dipengaruhi oleh faktor lain, diantaranya suhu dan kelembaban.

Nilai RQ hasil perhitungan menunjukkan para petugas pintu tol masih berada dalam tingkat resiko yang cukup aman akibat paparan polutan TSP. Namun, resiko paparan yang diterima oleh petugas pintu tol tidak hanya berasal dari TSP, tetapi juga dari zat pencemar lain yang dihasilkan kendaraan bermotor, seperti NO_x , SO_x , HC, dan sebagainya, sehingga diperlukan data konsentrasi zat pencemar lain untuk menghitung resiko kesehatan total yang dialami oleh petugas gardu.

Nilai hasil uji kadar konsentrasi Pb menunjukkan hasil sebesar $0,055 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Hasil konversi nilai konsentrasi Pb untuk pengukuran 24 jam adalah $0,032 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Nilai ini tidak melebihi baku mutu udara ambien sesuai dengan PP No.41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.

Kata kunci : Pencemaran udara, Transportasi, Gerbang tol, Konsentrasi TSP,
Konsentrasi Timbal

ABSTRACT

Name : Dewi Aprianti
Majoring : Environmental Engineering
Title : Influence Analysis of Vehicles Traffic Volume Level at Highway Gate to The Concentration of Total Suspended Particulate (TSP) Level and Measurement of Lead Concentration in Ambien Air (Case Study: Cililitan 2 Gate Highway, January-February 2011)

Development of people's activities is bringing on the rise of mobilization that pointed out in an increase number of vehicles up to a certain level where the rate of path growth can not compensate for the increasing number of vehicles, so that there is traffic jam. It usually occurs in many metropolis on the development country, especially in Jakarta. One of effort to solve this problem is highway construction.

Highway payment system is carried out on the highway gate. In many gate, payment is still served by an officer who works in a continous period. This lead the officer to expose by motor vehicle emissions. One of the emission is Total Suspended Particulate (TSP) which is bad for human health, such as respiratory infections, bronchitis, decrease the function of lung, minor heart attack, etc. Therefore, it is important to measure the TSP concentration around the gate so that we can assess TSP exposure risk level, where described in Risk Quotient value, to the officer's health.

Control of TSP concentration can be done effectively by controlling the source that has the most influence to the magnitude of TSP concentration measured around the gate. The main source of TSP in such area is motor vehicle, therefore it is necessary to identify the type of vehicle which the most influential and most contribute to TSP concentration.

TSP concentration was measured from 06.00 A.M to 01.00 P.M by using Gravimetry method with HVAS Equipment. Lead concentration was measured by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The most influential type of vehicle to TSP concentration was determined by descriptive analysis. The relationship between TSP concentration and vehicle traffic volume was assessed by using least square and multiple regression analysis. Whereas TSP exposure risk level in Risk Quotient (RQ) value was assessed using Environmental Health Risk Analysis.

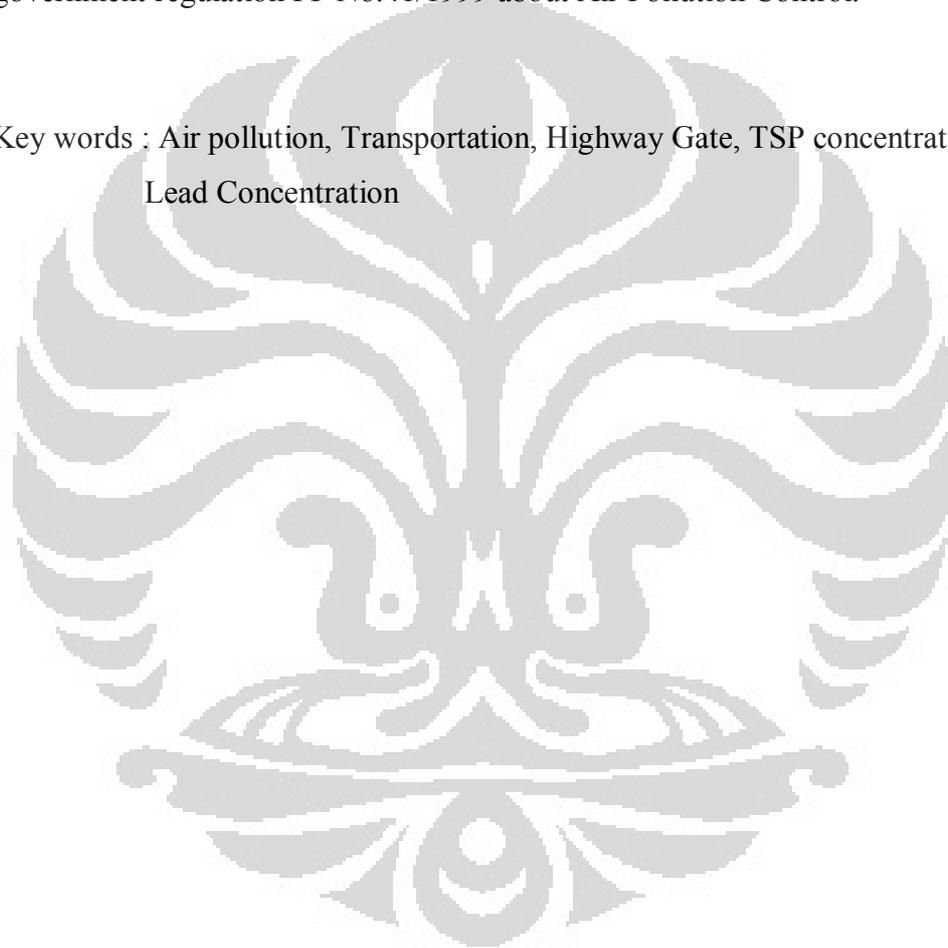
Result of analysis shows the type of vehicle that the most affect the magnitude of TSP concentration measured at Cililitan 2 gate highway is vehicle that belongs to Category II, truck with two axles. Coefficient of determination R^2 between total vehicles volume with TSP concentration is 0,123. The value indicates that 12,3 % data of TSP concentration influenced by total vehicles

volume, and 87,7% data of TSP concentration influenced by other factors, such as formation of secondary particulate, changes in temperature and humidity, etc.

Result of Risk Quotient (RQ) assessment shows that the officers are still in a safe level from risk due to exposure of TSP. However, the risk of exposure received by the officer not only come from TSP, but also come from the other pollutants, such as NO_x , SO_x , HC, etc. So, investigating another pollutant concentration data is necessary to calculate the total health risk experienced by the officers.

Measurement of Pb concentration level with AAS method shows the value of $0,055 \text{ g/Nm}^3$. The conversion value for 24 hours measurement is $0,032 \text{ g/Nm}^3$. It is not exceed the ambient air quality standards accordance with government regulation PP No.41/1999 about Air Pollution Control.

Key words : Air pollution, Transportation, Highway Gate, TSP concentration,
Lead Concentration



DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Manfaat Penelitian	5
1.4. Ruang Lingkup	5
1.5. Perumusan Masalah	6
1.6. Metode Penulisan	7
1.7. Sistematika Penulisan	8
BAB 2 LANDASAN TEORI	10
2.1. Konsep Udara dan Pencemaran Udara	10
2.2. Sumber Pencemar Udara	10
2.3. Klasifikasi Zat Pencemar	12
2.4. Kegiatan Transportasi dan Jalan Tol	13
2.5. Suspended Particulate Matter	18
2.5.1. Definisi dan Karakteristik Suspended Particulate Matter	18
2.5.2. Klasifikasi Suspended Particulate Matter (SPM)	20
2.5.3. Dampak yang Ditimbulkan Emisi Particulate Matter	25
2.5.4. Rute Paparan Particulate Matter	27
2.6. Kajian Dampak Lingkungan	27

2.6.1. Analisis Pemajanan.....	29
2.6.2. Analisis Dosis-Respon.....	30
2.7. Timbal.....	32
2.7.1. Dampak Pajanan Timbal.....	32
2.7.2. Hubungan Pajanan Timbal dengan Penggunaan Bensin Bertimbal... 34	
2.8. Kondisi Pencemaran Udara Akibat Transportasi di Indonesia.....	35
2.9. Hipotesis	36
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1. Konsep Metode Penelitian.....	37
3.2. Lokasi Penelitian.....	37
3.3. Populasi dan Sampel.....	39
3.4. Variabel.....	39
3.4.1. Variabel pada Analisis Volume kendaraan Tiap Golongan Kendaraan Terhadap Nilai Konsentrasi TSP Terukur.....	40
3.4.2. Variabel pada Analisis Volume kendaraan Total Terhadap Nilai Konsentrasi TSP Terukur.....	40
3.5. Metode Pengambilan Sampel.....	41
3.6. Waktu Pengambilan Sampel Udara.....	43
3.7. Metode Pengolahan Data.....	43
3.7.1. Uji Korelasi Antara Volume Lalu lintas Kendaraan Tiap Golongan (X) Terhadap Konsentrasi TSP (Y).....	43
3.7.2. Uji Korelasi Antara Volume Lalu lintas Kendaraan Total (X) Terhadap Konsentrasi TSP (Y).....	45
3.7.3. Perbandingan Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Terhadap Baku Mutu Udara Ambien	46
3.7.4. Perhitungan Nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Dari Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran.....	48
3.7.5. Perhitungan Tingkat Resiko Pemajanan	49
3.7.6. Penentuan Kadar Konsentrasi Timbal di Udara berdasarkan Partikulat yang Tertangkap Pada Filter Fiberglass HVAS	52

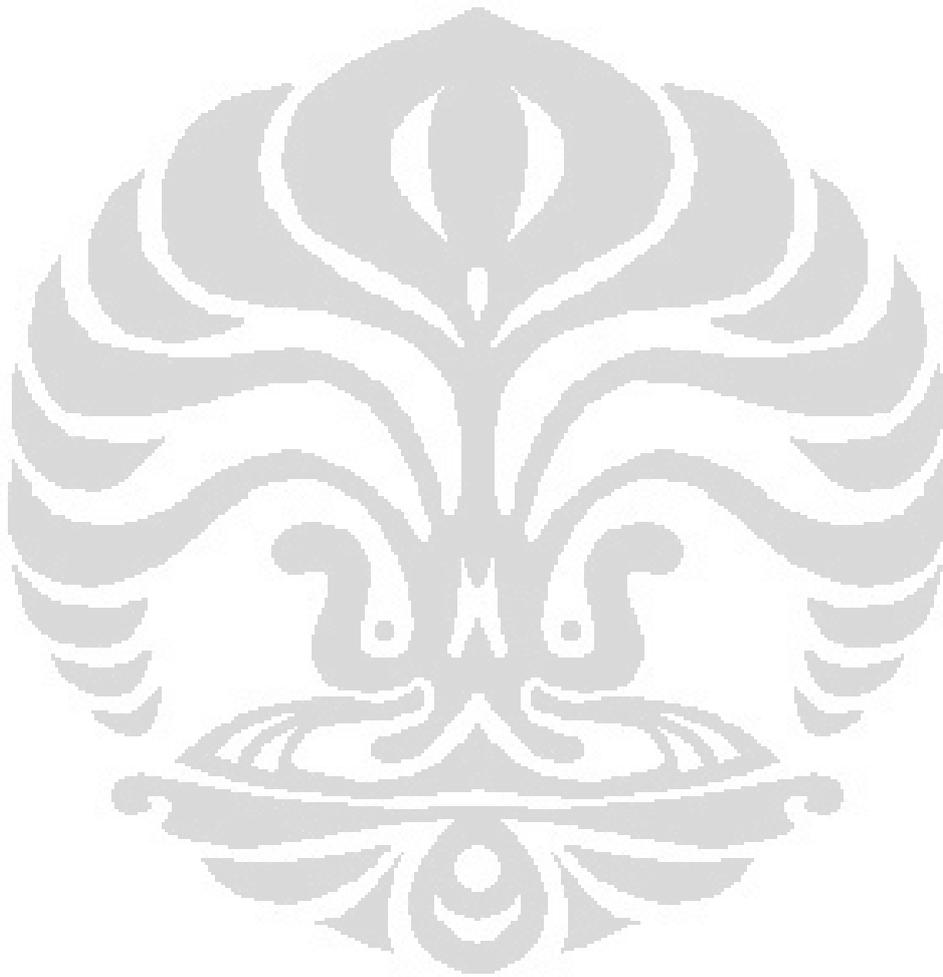
BAB 4 GAMBARAN UMUM LOKASI STUDI	53
4.1. Deskripsi Tata Letak Gardu Pada Gerbang Tol.....	55
4.2. Deskripsi Petugas Pintu Tol.....	57
4.3. Deskripsi Fasilitas Pada Pintu Tol.....	59
BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	61
5.1. Perhitungan Kontribusi Konsentrasi TSP Udara Ambien yang Dihasilkan Untuk Tiap Satuan Mobil Penumpang	66
5.2. Analisis Perbandingan Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan Tiap Golongan dengan Grafik Fluktuasi Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran..	68
5.3. Perbandingan Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran dengan Baku Mutu Udara Ambien.....	83
5.4. Uji Korelasi Berganda antara Volume Kendaraan dengan Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran	87
5.5. Uji Korelasi Sederhana antara Volume Kendaraan Total dengan Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran	90
5.6. Analisis Fluktuasi Konsentrasi TSP Terhadap Data Faktor Meteorologis	91
5.7. Hasil Perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara untuk Parameter TSP Pada Pintu Tol Cililitan 2.....	105
5.8. Perhitungan Tingkat Resiko Pemaparan TSP terhadap Petugas Pintu Tol	107
5.9. Uji Laboratorium Kadar Logam Pb pada Filter HVAS.....	109
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	114
6.1. Kesimpulan	114
6.2. Saran	115
REFERENSI.....	xxi
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	xxxix

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bahan Partikulat dan Ukuran Partikelnya.....	23
Gambar 2.2 Sumber-Sumber Penghasil Partikulat	23
Gambar 2.3 Proses Pembentukan Partikulat Sekunder.....	24
Gambar 2.4 Daerah Deposisi Partikel Udara Pada Saluran Pernapasan Manusia	27
Gambar 2.5 Kegiatan Transportasi Sebagai Penyumbang Polutan di Udara.....	35
Gambar 3.1 Bagan Alir Metode Penelitian	37
Gambar 3.2 Peta Lokasi Studi Penelitian Pintu Tol Cililitan 2.....	38
Gambar 3.3 Lay Out Tata Letak Susunan Gardu Pada Pintu Tol Cililitan 2.....	41
Gambar 4.1 Peta lokasi Ruas Jalan Cawang-Tomang-Cengkareng	53
Gambar 4.2 Gerbang Tol Cililitan 2 yang Dijadikan Sebagai Lokasi Studi.....	55
Gambar 4.3 Tata Letak Gerbang Tol Cililitan 1 dan Gerbang Tol Cililitan 2	56
Gambar 4.4 Lay out Gardu pada Gerbang Tol Cililitan 2.....	56
Gambar 4.5 Pos Petugas Kebersihan Gerbang Tol Cililitan 2	57
Gambar 4.6 Petugas Gardu yang Sedang Bertugas di Dalam Gardu.....	58
Gambar 4.7 Sensor Tiang yang Terdapat Pada Tiap Lajur Gardu	59
Gambar 4.8 Pohon dan Tanaman yang Terdapat di Sisi Jalan Gerbang Tol	60
Gambar 4.9 Tanaman dalam Pot yang Diletakkan di Luar Gardu	60
Gambar 5.1 Grafik Rata-rata Konsentrasi TSP di Pintu Tol Pada Hari Kerja (Selasa dan Rabu) dan Hari Libur (Sabtu dan Minggu)	62
Gambar 5.2 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I, II, III, IV, dan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Rabu, 12 Januari 2011	69
Gambar 5.3 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I, II, III, IV, dan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Minggu, 27 Februari 2011	72
Gambar 5.4 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I, II, III, IV, dan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13, Selasa, 18 Januari 2011	74

Gambar 5.5 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I, II, III, IV, dan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13, Sabtu, 15 Januari 2011	76
Gambar 5.6 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I, II, III, IV, dan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14, Rabu, 23 Februari 2011	78
Gambar 5.7 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I, II, III, IV, dan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14, Sabtu 26 Februari 2011	80
Gambar 5.8 Grafik Perbandingan Rata-rata Konsentrasi TSP di Pintu Tol Pada Hari Kerja dengan Baku Mutu Udara Ambien untuk TSP	86
Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Rata-rata Konsentrasi TSP di Pintu Tol Pada Hari Libur dengan Baku Mutu Udara Ambien untuk TSP	87
Gambar 5.10 Grafik Hubungan antara Volume Kendaraan Total Terhadap Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran.....	90
Gambar 5.11 Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP Rabu, 12 Januari 2011	92
Gambar 5.12 Grafik Fluktuasi Data Suhu dan Kelembaban Rabu, 12 Januari 2011	92
Gambar 5.13 Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP Minggu, 27 Januari 2011.....	94
Gambar 5.14 Grafik Fluktuasi Data Suhu dan Kelembaban Minggu, 27 Januari 2011	95
Gambar 5.15 Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP Selasa, 18 Januari 2011.....	98
Gambar 5.16 Grafik Fluktuasi Data Suhu dan Kelembaban Selasa, 18 Januari 2011	98
Gambar 5.17 Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP Sabtu, 15 Januari 2011	100
Gambar 5.18 Grafik Fluktuasi Suhu dan Kelembaban Sabtu, 15 Januari 2011..	100
Gambar 5.19 Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP, Rabu, 23 Februari 2011	101

Gambar 5.20 Grafik Fluktuasi Suhu dan Kelembaban, Rabu, 23 Februari 2011	102
Gambar 5.21 Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP, Sabtu, 26 Februari 2011.....	103
Gambar 5.22 Grafik Fluktuasi Suhu dan Kelembaban Sabtu, 26 Februari 2011	103
Gambar 5.23 Persentase Kategori Kualitas Udara Berdasarkan nilai ISPU untuk Parameter TSP Pada Pintu tol Cililitan 2.....	106



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai SMP yang biasa digunakan di Indonesia	14
Tabel 2.2 Perbandingan Mesin Berbahan Bakar Bensin dan Mesin Diesel.....	15
Tabel 2.3 Tipe Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Jalan Tol.....	18
Tabel 2.4 Default Parameter Antropometri yang Dikeluarkan Oleh U.S EPA.....	30
Tabel 2.5 Nilai RfC yang Dikeluarkan Oleh U.S EPA.....	31
Tabel 3.1 Nilai Faktor Satuan Mobil Penumpang yang Digunakan.....	43
Tabel 3.2 Jadwal Pengambilan Sampel Kualitas Udara	43
Tabel 3.3 Kategori ISPU Untuk Partikulat Udara Ambien Berdasarkan Standar National Ambient Air Quality dan Bapedal Selama 24 Jam.....	48
Tabel 3.4 Kategori ISPU Untuk TSP Terhadap Efek Kesehatan Masyarakat	48
Tabel 3.5 Default Parameter Antropometri yang Dikeluarkan Oleh U.S EPA.....	51
Tabel 3.6 Nilai RfC yang Dikeluarkan Oleh U.S EPA.....	51
Tabel 4.1 Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata per Cabang Tahun 2005-2009 (dalam satuan kendaraan/hari).....	54
Tabel 4.2 Volume Lalu Lintas Transaksi Beberapa Ruas Jalan Tol Berdasarkan Data Laporan Tahun 2009.....	54
Tabel 5.1 Perbandingan Kondisi Lalu Lintas Pada Pukul 08.00-09.00 dengan Pukul 09.00-10.00 pada hari kerja.	63
Tabel 5.2 Perbandingan Kondisi Lalu Lintas Pada Pukul 10.00-11.00 dengan Pukul 11.00-12.00 pada hari kerja.	64
Tabel 5.3 Perbandingan Kondisi Lalu Lintas Pada Pukul 09.00-10.00 dengan Pukul 10.00-11.00 pada hari libur.	65
Tabel 5.4 Perbandingan Kondisi Lalu Lintas Pada Pukul 11.00-12.00 dengan Pukul 12.00-13.00 pada hari libur.	65
Tabel 5.5 Resume Hasil Analisis Pengaruh Kejadian Antrean Terhadap Konsentrasi TSP yang Terukur.....	66
Tabel 5.6 Hasil Analisis Perbandingan Grafik Volume Kendaraan dengan Grafik Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Pada Rabu, 12 Januari 2011	70
Tabel 5.7 Hasil Analisis Perbandingan Grafik Volume Kendaraan dengan Grafik Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Pada Minggu, 27 Februari 2011 ..	73

Tabel 5.8 Hasil Analisis Perbandingan Grafik Volume Kendaraan dengan Grafik Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Pada Selasa, 18 Januari 2011	75
Tabel 5.9 Hasil Analisis Perbandingan Grafik Volume Kendaraan dengan Grafik Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Pada Sabtu, 15 Januari 2011	77
Tabel 5.10 Hasil Analisis Perbandingan Grafik Volume Kendaraan dengan Grafik Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Pada Rabu, 23 Februari 2011	79
Tabel 5.11 Hasil Analisis Perbandingan Grafik Volume Kendaraan dengan Grafik Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Pada Sabtu, 26 Februari 2011	81
Tabel 5.12 Resume Jumlah Korelasi Positif Hasil Analisis Deskriptif Grafik Volume Kendaraan Tiap Golongan terhadap Grafik Konsentrasi TSP	82
Tabel 5.13 Perbandingan Konsentrasi TSP Hasil Konversi dengan Baku Mutu Udara Ambien sesuai PP No.41 Tahun 1999	84
Tabel 5.14 Kategori ISPU Untuk TSP Terhadap Efek Kesehatan Masyarakat ..	106
Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Nilai RQ untuk Berbagai Variasi Berat Badan dan Durasi Paparan	108
Tabel 5.16 Data Hasil Uji Kadar Pb dalam Filter	109
Tabel 5.17 Hasil Analisis Sampel Bensin di SPBU Jakarta	110
Tabel 5.18 Konsentrasi Pb pada Udara Ambient di Asia, Afrika, dan AS	112

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Persetujuan Penelitian dan Pengukuran (Sampling Udara) Jasa Marga.....	xxxii
Lampiran 2 Metode Pengujian Kadar Debu (TSP) dengan Metode Gravimetrik	xxxiv
Lampiran 3 Hasil Pengambilan Data Penelitian.....	xxxix
Lampiran 4 Data Volume Kendaraan dalam Unit Satuan Mobil Penumpang/Jam	li
Lampiran 5 Cara Perhitungan Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran.....	liv
Lampiran 6 Grafik Hubungan antara Volume Kendaraan dengan Konsentrasi TSP	lxi
Lampiran 7 Perhitungan Persamaan Regresi Linier Sederhana dan Koefisien Korelasi antara Volume Kendaraan Total Terhadap Konsentrasi TSP	lxxx
Lampiran 8 Cara Perhitungan Persamaan Regresi Linier Berganda dan Koefisien Korelasi antara Volume Kendaraan Terhadap Konsentrasi TSP	lxxxiii
Lampiran 9 Cara Perhitungan Nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	xciii

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan ekonomi, perubahan gaya hidup dan peningkatan aktivitas penduduk menyebabkan terjadinya peningkatan mobilisasi. Peningkatan mobilisasi tersebut ditandai dengan adanya peningkatan jumlah kendaraan hingga mencapai suatu tingkat tertentu dimana laju pertumbuhan jalan tidak dapat mengimbangi laju pertumbuhan jumlah kendaraan yang terus meningkat sehingga terjadilah suatu permasalahan yang disebut sebagai kemacetan. Permasalahan tersebut banyak terjadi di kota-kota besar, khususnya di Kota Jakarta.

Sistem manajemen transportasi mempengaruhi pola pergerakan manusia dan kendaraan di suatu kota yang kemudian akan mempengaruhi kualitas udara yang ada di kota tersebut. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No.32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Menurut PP No.41 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara, yang disebut sebagai 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 fungsi sebagaimana mestinya. Kepadatan dan kemacetan lalu lintas menyebabkan kendaraan tidak dapat beroperasi pada kecepatan optimum, yaitu kecepatan kendaraan yang menghasilkan emisi gas buang minimum (Imansyah, 2008). Oleh sebab itu, adanya kemacetan di suatu kota dapat meningkatkan terjadinya peristiwa pencemaran udara di kota tersebut.

Berdasarkan data yang didapat dari laporan status lingkungan hidup Indonesia tahun 2002 yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, dari beberapa penelitian yang telah dilakukan diketahui 70 % dari total emisi yang dibuang ke udara berasal dari gas buang kendaraan bermotor. Hal ini menunjukkan bahwa sektor transportasi merupakan sumber pencemar

utama yang sangat berpengaruh terhadap kualitas udara di wilayah dengan jumlah kendaraan yang padat seperti Kota Jakarta.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan kemacetan yang terjadi adalah dengan membangun jalan tol. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia No. 38 Tahun 2004 tentang jalan, yang disebut sebagai jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol. Pengelolaan dan pengoperasian jalan tol dilakukan oleh badan usaha tertentu. Salah satu badan usaha tersebut adalah PT.Jasa Marga, Tbk. Jalan ini hanya diperuntukkan bagi kendaraan beroda empat atau lebih.

Emisi kendaraan bermotor akan berbeda dari satu daerah dengan daerah lainnya dikarenakan adanya perbedaan atau variasi desain jalan serta kondisi lalu lintas (Liu *et.al*, 2007). Banyaknya emisi kendaraan bermotor yang dihasilkan pada ruas jalan biasa berbeda dengan emisi kendaraan bermotor yang dihasilkan pada ruas jalan tol. Hal ini dikarenakan ruas jalan biasa dan ruas jalan tol memiliki desain jalan serta kondisi lalu lintas yang berbeda. Ruas jalan biasa dapat didesain untuk satu arah maupun dua arah, tergantung kondisi lokasi, lebar ruas jalan, dan pertimbangan lainnya. Sedangkan satu ruas jalan tol didesain satu arah. Karakteristik lalu lintas antara ruas jalan biasa dengan ruas jalan tol juga berbeda. Lalu lintas pada ruas jalan biasa dapat terdiri dari berbagai jenis kendaraan, meliputi sepeda motor, mobil penumpang, truk, sepeda, bis, dan lain sebagainya. Keadaan lalu lintas pada jalan biasa cenderung tergantung pada kondisi atau keadaan letak dan karakteristik jalan.

Dalam kondisi normal, Kendaraan yang melintasi ruas jalan tol biasanya melaju dengan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kendaraan yang melintasi ruas jalan biasa. Keadaan normal yang dimaksud adalah suatu keadaan dimana kondisi lalu lintas ruas jalan lancar, volume lalu lintas sesuai dengan kapasitas jalan, dan tidak terdapat hambatan maupun gangguan. Kendaraan-kendaraan tersebut akan berhenti beberapa saat di pintu tol untuk melakukan pembayaran tarif dan kemudian melaju kembali. Selain itu juga terdapat antrean di pintu tol pada beberapa keadaan tertentu. Adanya antrean dan kondisi kecepatan kendaraan yang melambat, berhenti, dan kemudian melaju kembali

akan menghasilkan jumlah emisi yang lebih banyak dibandingkan dengan emisi yang dihasilkan dari kendaraan yang terus melaju dengan lancar. Hal ini menyebabkan konsentrasi polutan yang terdapat di pintu tol menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi polutan pada ruas jalan dalam keadaan normal.

Pada tiap-tiap pintu tol terdapat petugas pintu tol yang bekerja sesuai dengan *shift* kerjanya dalam jangka waktu tertentu secara rutin dan berkesinambungan. Hal ini menyebabkan petugas pintu tol terpapar oleh emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor yang mengantre, berhenti, dan kemudian melaju kembali pada pintu tol selama waktu kerjanya.

Emisi kendaraan bermotor berupa nitrogen, karbon dioksida dan uap air bukan merupakan gas yang berbahaya, namun selain dari gas-gas tersebut ternyata emisi kendaraan bermotor juga mengandung karbon monoksida (CO), senyawa hidrokarbon (HC), berbagai oksida nitrogen (NO_x), oksida sulfur (SO_x), dan partikulat debu termasuk timbal (Pb) (Hickman *et.al*, 1999).

Total Suspended Particulate adalah salah satu emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor berupa campuran seluruh partikel dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang tersebar di udara dengan diameter yang sangat kecil, mulai dari lebih kecil 1 µm sampai dengan 100 µm. Partikulat tersebut akan berada di udara untuk waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang dan masuk ke dalam tubuh manusia melalui saluran pernapasan sehingga menyebabkan gangguan kesehatan.

Timbal atau timah hitam merupakan salah satu zat yang dapat terukur sebagai *Total Suspended Particulate* (TSP). Berdasarkan informasi yang didapat dari buku "Efek Toksik Logam: Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran" (Widowati *et.al*, 2008), keberadaan Pb di udara ambien diketahui dapat menyebabkan dampak buruk bagi kesehatan manusia, diantaranya mengganggu biosintesis haemoglobin dan menyebabkan anemia, menyebabkan kenaikan tekanan darah, kerusakan ginjal, gangguan sistem saraf, merusak otak dan menurunkan IQ serta konsentrasi, dan menurunkan fertilitas pria melalui perusakan sperma.

Akibat pencemaran udara dari kendaraan bermotor, saat ini tercatat penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) dan gangguan pernapasan lain selalu

menduduki peringkat atas dari sepuluh penyakit terbanyak yang dilaporkan oleh pusat-pusat pelayanan kesehatan, puskesmas, klinik, dan rumah sakit (Mulia, 2005). Studi epidemiologi juga memperlihatkan hasil yang konsisten bahwa terdapat kaitan antara polusi udara oleh partikulat dengan jumlah kematian akibat kanker dan kardiovaskular serta penyakit pernapasan (Pope *et al.*, 2002). Selain itu terdapat fakta adanya hubungan antara polusi partikulat udara dan peningkatan pada jumlah pasien penyakit pernapasan di rumah sakit (Roemer *et al.*, 1993; Pope, 1991 ; Burnett, 1995) dan penyakit kardiovaskular (Burnett, 1995; Schwartz *et al.*, 1995). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian berupa pengukuran terhadap *Total Suspended Particulate* dan timbal di pintu tol sehingga dapat diketahui seberapa besar konsentrasi partikulat udara dan kandungan timbal pada udara ambien di sekitar pintu tol. Selain itu juga dapat diketahui apakah kualitas udara di lokasi tersebut masih memenuhi baku mutu udara ambien yang berlaku serta apakah masih cukup aman bagi petugas pintu tol atau tidak.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini secara umum adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui apakah kualitas udara di sekitar pintu tol masih memenuhi baku mutu udara ambien atau tidak dilihat dari konsentrasi parameter *Total Suspended Particulate* dan timbal.
2. Untuk mengetahui pengaruh kejadian antrean pada pintu tol terhadap konsentrasi *Total Suspended Particulate* yang terukur.
3. Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi konsentrasi *Total Suspended Particulate* di udara ambien yang dihasilkan oleh kendaraan berbahan bakar bensin dan kendaraan berbahan bakar solar.
4. Untuk mengetahui jenis kendaraan yang paling mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi *Total Suspended Particulate* yang terukur di udara ambien di sekitar pintu tol.
5. Untuk mengetahui pengaruh tingkat volume lalu lintas kendaraan yang melintas di pintu tol terhadap tingkat konsentrasi *Total Suspended Particulate* di udara ambien.

6. Untuk mengetahui kondisi kategori kualitas udara di sekitar pintu tol selama penelitian berlangsung berdasarkan hasil perhitungan nilai Indeks Standar Pencemar Udara.
7. Untuk mengetahui seberapa besar tingkat resiko pemaparan TSP terhadap petugas pintu tol yang dinyatakan dalam nilai *Risk Quotient* (RQ).

Sedangkan tujuan secara khususnya adalah untuk memenuhi persyaratan kelulusan guna mendapatkan gelar sarjana sesuai dengan kurikulum yang berlaku di Program Studi Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi bidang ilmu pengetahuan dan penelitian ilmiah, data hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi polutan partikulat udara dan timbal pada udara ambien di sekitar pintu tol, sehingga dapat dijadikan sebagai referensi ilmiah dan bahan kajian untuk analisis lebih lanjut mengenai dampak pemaparan polutan udara terhadap kesehatan sistem pernapasan manusia.
2. Bagi PT Jasa Marga, Tbk, dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan kebijakan dan keputusan yang berkaitan dengan aspek perlindungan kesehatan bagi karyawan yang bertugas sebagai petugas pintu tol.
3. Bagi penulis, dapat dijadikan sebagai sarana pelatihan dan peningkatan ilmu pengetahuan, keterampilan, dan wawasan dalam melakukan penelitian ilmiah yang nyata.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup bahasan yang akan dikaji dalam penelitian ini meliputi:

1. Besarnya konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) dan timbal pada udara ambien di sekitar pintu tol. Pengukuran konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) dilakukan di pintu tol Cililitan dengan metode gravimetri menggunakan alat *High Volume Air Sampler* (HVAS). Semua konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) yang terukur diasumsikan hanya berasal

dari kendaraan bermotor yang melintas. Asumsi ini dapat diterima dengan melihat kondisi di sekitar pintu tol yang tidak terdapat sumber penghasil partikulat yang dinilai cukup berpengaruh. Pengukuran konsentrasi timbal dilakukan dengan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) pada beberapa sampel filter fiber glass HVAS yang telah digunakan untuk pengukuran *Total Suspended Particulate* (TSP) di lapangan.

2. Perbandingan konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) dan timbal hasil pengukuran terhadap baku mutu udara ambien yang berlaku. Baku mutu udara yang digunakan sesuai dengan PP No.41 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara.
3. Pembahasan dan analisis pengaruh kejadian antrean di pintu tol terhadap besarnya konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) yang terukur.
4. Analisis pengaruh tingkat volume lalu lintas kendaraan yang melintas terhadap konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) udara ambien yang dihasilkan
5. Analisis dan perhitungan faktor kontribusi konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) di udara ambien yang dihasilkan oleh kendaraan berbahan bakar bensin dan kendaraan berbahan bakar solar.
6. Gambaran kondisi kualitas udara di sekitar pintu tol yang dinyatakan dengan nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).
7. Tingkat resiko pemajanan *Total Suspended Particulate* (TSP) terhadap petugas loket pintu tol yang terpapar polutan udara

1.5. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diteliti berkaitan dengan konsentrasi polutan yang diemisikan oleh kendaraan bermotor yang melintasi pintu tol. Salah satu emisi yang dihasilkan tersebut berupa partikulat udara. Hal utama yang ingin dikaji adalah pengaruh tingkat volume lalu lintas kendaraan di pintu tol terhadap tingkat konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) pada udara ambien di sekitar loket pembayaran dan bagaimana tingkat resiko pemajannya terhadap petugas pintu tol. Perumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) dan timbal pada udara ambien di sekitar pintu tol dan apakah tingkat konsentrasi tersebut masih memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku serta cukup aman bagi petugas pintu tol?
2. Apakah kejadian antrean di pintu tol mempengaruhi besarnya konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) yang terukur?
3. Apakah volume lalu lintas kendaraan yang melintas di pintu tol memiliki pengaruh terhadap besarnya nilai konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) yang dihasilkan?
8. Seberapa besar faktor kontribusi konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) di udara ambien yang dihasilkan oleh kendaraan berbahan bakar bensin dan kendaraan berbahan bakar solar?
4. Bagaimana kondisi kategori kualitas udara ambien yang terdapat di sekitar pintu tol?
5. Seberapa besar tingkat resiko pemajanan *Total Suspended Particulate* (TSP) terhadap petugas pintu tol dan apakah dengan nilai tingkat resiko tersebut membutuhkan sebuah pengendalian?

1.6. Metode Penulisan

Metode Penulisan yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Suatu metode penelitian yang dilakukan dengan membandingkan atau menggunakan informasi, data-data, atau pengetahuan yang ada untuk menganalisis permasalahan. Informasi-informasi dasar atau penunjang yang dibutuhkan untuk menganalisis permasalahan tersebut didasarkan pada buku-buku ilmiah, jurnal atau literatur-literatur yang telah ada sebelumnya.

2. Studi Lapangan

Penulis melakukan survei langsung ke lapangan guna melakukan observasi terhadap lokasi studi. Selain itu, Penulis juga melakukan pengumpulan data serta melakukan pengukuran langsung terhadap konsentrasi polutan di titik yang telah ditentukan.

3. Wawancara

Penulis melakukan wawancara terhadap beberapa petugas pintu tol mengenai informasi-informasi yang dibutuhkan dalam proses analisis data dan penghitungan tingkat resiko pemajanan.

1.7. Sistematika Penulisan

Hasil penelitian ini disajikan dalam enam bab. Setiap bab terdiri dari subbab-subbab tertentu yang berkaitan dengan bahasan dari bab yang bersangkutan. Berikut adalah deskripsi bab-bab yang disajikan.

Bab 1 Pendahuluan

Menjelaskan tentang latar belakang dilakukannya penelitian ini. Selain itu juga dijabarkan mengenai tujuan-tujuan dari dilakukannya penelitian ini, ruang lingkup penelitian, metode penulisan, serta sistematika penulisan yang digunakan.

Bab 2 Landasan Teori

Memaparkan tentang teori-teori yang berkaitan dengan bahasan penelitian yang kemudian akan dijadikan sebagai dasar dalam proses menganalisis dan membahas permasalahan yang ada.

Bab 3 Metode Penelitian

Menjelaskan dan mendeskripsikan tentang metode penelitian yang digunakan, meliputi pemaparan tahap-tahap penelitian, metode pengambilan data yang terdiri dari penjelasan lingkup sampel dan populasi yang digunakan, penentuan teknik pengambilan sampel, metode pengukuran, serta metode pengolahan data.

Bab 4 Gambaran Umum Lokasi Studi

Menggambarkan tentang keadaan wilayah lokasi studi yang digunakan dalam penelitian serta mendeskripsikan situasi saat dilakukan pengambilan sampel.

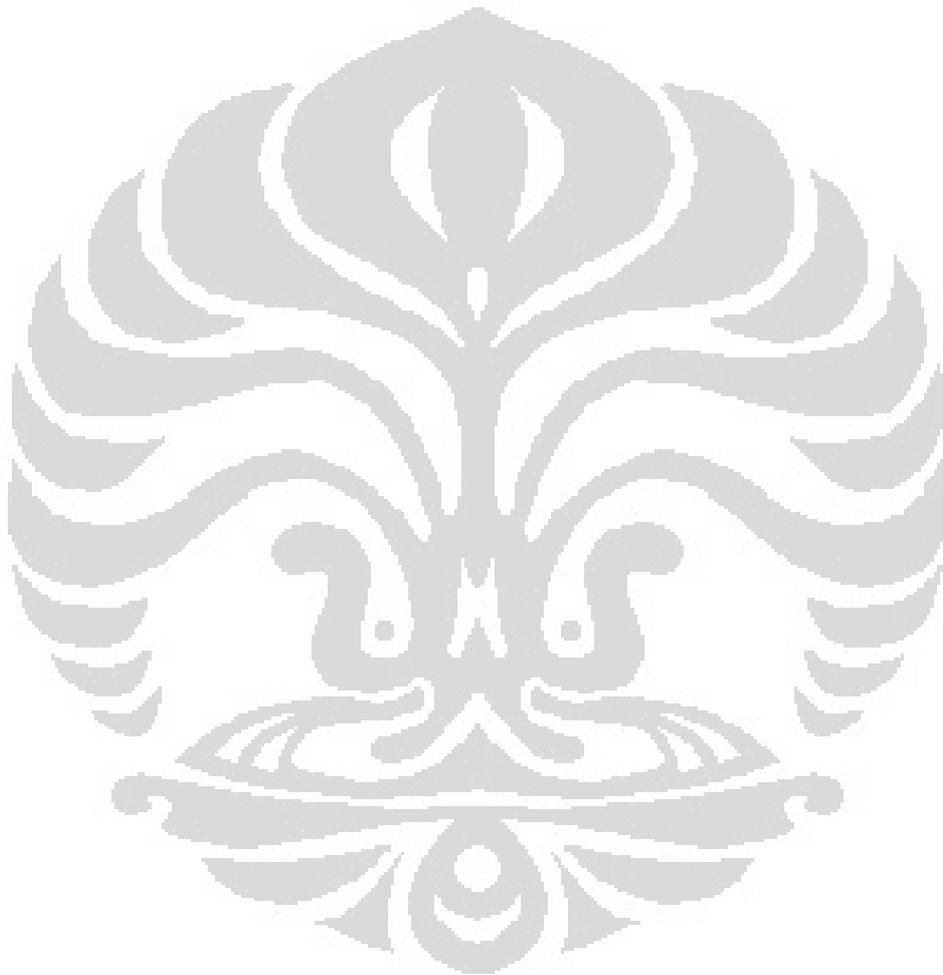
Bab 5 Pengolahan Data dan Pembahasan

Menampilkan tentang hasil pengumpulan data dan pengukuran yang diperoleh dari lapangan serta menjabarkan proses pengolahan data lapangan tersebut yang kemudian dirangkum dalam suatu resume hasil akhir pengolahan

data. Selain itu juga menjabarkan tentang proses analisis dari hasil pengolahan data yang telah didapatkan guna mendapatkan hasil kesimpulan akhir penelitian.

Bab 6 Kesimpulan dan Saran

Menampilkan hasil akhir kesimpulan penelitian dan saran yang akan menjawab tujuan penelitian.



BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Konsep Udara dan Pencemaran Udara

Udara adalah campuran dari berbagai macam gas dan partikel yang berada di permukaan dan menyelimuti bumi dan membentuk atmosfer. Komposisi udara di atmosfer yang menopang kehidupan manusia terdiri dari Nitrogen (N_2) sebesar 78,8 % dari volume udara kering, Oksigen (O_2) sebesar 20,94 %, Argon (Ar) sebesar 0,02 %, dan gas-gas lainnya serta berbagai gas dan partikel yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dan alam.

Udara merupakan komponen kehidupan dan perikehidupan yang sangat penting untuk kelangsungan hidup manusia maupun makhluk hidup lainnya seperti tumbuhan dan hewan. Manusia dapat bertahan hidup untuk beberapa hari tanpa keberadaan makanan dan minuman. Namun, manusia hanya dapat hidup untuk beberapa menit saja tanpa adanya udara. Menurut PP No.41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, udara ambien adalah udara bebas dipermukaan bumi pada lapisan troposfer yang berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya.

Pencemaran udara adalah kehadiran satu atau lebih substansi fisik, kimia, atau biologi di atmosfer dalam jumlah yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan, mengganggu estetika dan kenyamanan, atau merusak properti. Menurut PP No.41 Tahun 1999, yang dikatakan sebagai 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.

2.2 Sumber Pencemar Udara

Menurut PP No.41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, sumber pencemar didefinisikan sebagai setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan pencemar ke udara yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi

sebagaimana mestinya. Sumber pencemar udara dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa aspek tertentu, yang terdiri dari:

1. Klasifikasi sumber pencemar udara berdasarkan letaknya, dibedakan menjadi:
 - a. Sumber pencemar Indoor
Sumber pencemar indoor adalah kegiatan yang dilakukan di dalam ruangan dan menghasilkan zat pencemar udara yang dapat mempengaruhi kualitas udara di dalam ruangan tersebut, contohnya kegiatan sehari-hari seperti memasak, fotokopi, cat rumah, bahan kimia pembersih, radiasi microwave, dan lain sebagainya.
 - b. Sumber pencemar outdoor
Sumber pencemar outdoor adalah kegiatan yang dilakukan di luar ruangan yang berpotensi menghasilkan zat pencemar udara yang dapat mempengaruhi kualitas udara ambien, contohnya adalah kegiatan transportasi, pembakaran sampah, cerobong industri, dan lain-lain.
2. Klasifikasi sumber pencemar udara berdasarkan pergerakannya, terdiri dari:
 - a. Sumber bergerak
merupakan sumber emisi yang bergerak atau tidak tetap pada suatu tempat berupa kendaraan bermotor. Selain itu juga ada yang disebut sebagai sumber bergerak spesifik, yaitu sumber emisi yang bergerak atau tidak tetap pada suatu tempat yang berasal dari kereta api, pesawat terbang, kapal laut, dan kendaraan berat lainnya.
 - b. Sumber tidak bergerak
merupakan sumber emisi yang tetap pada suatu tempat, contohnya adalah emisi dari kegiatan industri, kebakaran hutan, konstruksi, jalan tanpa aspal atau pembakaran sampah.
3. Klasifikasi sumber pencemar udara berdasarkan asal-usulnya, terdiri dari:
 - a. Sumber alamiah
Zat pencemar udara dihasilkan dari aktivitas atau peristiwa alamiah. Contoh sumber pencemar alamiah adalah kebakaran hutan, rawa, sawah, hutan pinus, gunung meletus, nitrifikasi dan denitrifikasi biologi dan lain sebagainya.

- b. Sumber antropogenik

Zat pencemar udara dihasilkan dari aktivitas manusia, seperti kegiatan transportasi, industri, pembangkit listrik, pembakaran bahan bakar, dan lain-lain.
- 4. Klasifikasi sumber pencemar udara berdasarkan bentuk pencemarnya, terdiri dari:
 - a. Pencemar gas

Zat pencemar udara berbentuk gas, seperti CO, NO_x, HC dan SO_x.
 - b. Pencemar partikulat

Zat pencemar udara berbentuk partikulat, seperti PAN, PAH, dan lain sebagainya.
- 5. Klasifikasi sumber pencemar udara berdasarkan lokasi sumber pencemarnya, terdiri dari:
 - a. Titik

Sumber pencemar berupa suatu titik tertentu yang tidak berpindah, seperti pembakaran sampah, cerobong industry dan lain-lain.
 - b. Garis

Sumber pencemar berupa sepanjang lintasan dengan panjang tertentu, sebagai contoh adalah jalan sebagai tempat dilakukannya kegiatan transportasi.
 - c. Area

Sumber pencemar berupa area dengan luas tertentu, sebagai contoh adalah kebakaran hutan, rawa, hutan pinus, dan lain-lain.

2.3 Klasifikasi Zat Pencemar

Zat pencemar udara dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori, yaitu:

1. Polutan Primer

Polutan primer adalah polutan yang langsung diemisikan oleh sumber polutan, seperti CO₂, NO_x, SO_x, Hidrokarbon, dan lain sebagainya.
2. Polutan Sekunder

Polutan sekunder adalah polutan yang terbentuk akibat adanya reaksi primary polutan di udara, seperti Ozone yang merupakan hasil dari reaksi atom Oksigen

dengan molekul oksigen dan PAN (Peroxy Acetyl Nitrate) yang terbentuk akibat reaksi NO_x dengan sinar matahari di udara.

2.4 Kegiatan Transportasi dan Jalan Tol

Kegiatan transportasi adalah proses pemindahan atau mobilisasi manusia atau barang dari satu tempat ke tempat lainnya dengan menggunakan sebuah wahana yang digerakkan oleh manusia atau mesin. Pada dasarnya, transportasi digunakan untuk memudahkan manusia dalam melakukan aktivitas sehari-hari.

Sistem transportasi pada dasarnya terdiri dari tiga komponen, yaitu prasarana, kebutuhan pergerakan, dan lalu lintas. Lalu lintas terbentuk sebagai hasil interaksi antara ketersediaan prasarana dan kebutuhan pergerakan. Karakteristik lalu lintas dapat dilihat melalui parameter berikut:

1. Arus atau volume lalu lintas
2. Kecepatan
3. Kepadatan lalu lintas

Kepadatan lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang lewat pada suatu ruas jalan dalam satuan panjang jalan tertentu. Kepadatan lalu lintas atau densitas dinyatakan dalam jumlah kendaraan yang lewat sepanjang satu kilometer atau dinotasikan dengan kendaraan/Km. Hingga saat ini, untuk memperoleh data kepadatan lalu lintas dilakukan dengan cara manual, yaitu dengan menugaskan beberapa orang untuk berada di lapangan, menghitung setiap kendaraan yang lewat pada ruas jalan sepanjang satu kilometer dan kemudian dibagi dengan rentang waktu tertentu. Biasanya pengambilan data ini dilakukan pada dua kondisi, yaitu pada jam sibuk (*peak time*) dan jam tidak sibuk (*off peak time*).

Kecepatan adalah laju pergerakan lalu lintas yang ditunjukkan dengan jarak yang ditempuh suatu kendaraan dalam waktu tertentu. Satuan yang biasanya dipakai untuk menyatakan kecepatan adalah Km/jam.

Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melintasi satu titik pengamatan dalam satu satuan waktu. Volume lalu lintas adalah banyaknya kendaraan yang melewati suatu titik atau garis tertentu dibagi dengan lama waktu pengukurannya. Volume kendaraan dinyatakan dalam kendaraan/jam atau Satuan Mobil Penumpang/jam.

Emisi kendaraan bermotor di jalan disebabkan oleh tiga faktor, yaitu volume total kendaraan bermotor, karakteristik kendaraan bermotor, dan kondisi umum lalu lintas saat itu (Zhongan *et.al*, 2005). Oleh karena itu, parameter yang digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik lalu lintas yang kemudian dihubungkan dengan emisi partikulat yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah volume lalu lintas.

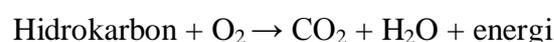
Satuan Mobil Penumpang (SMP) adalah satuan yang dipergunakan untuk menyatakan jumlah dari berbagai jenis kendaraan, yang telah dikonversikan dengan angka konversi tertentu terhadap jenis mobil penumpang. SMP merupakan satuan kendaraan di dalam arus lalu lintas yang disetarakan dengan kendaraan ringan atau mobil penumpang, dimana besaran SMP dipengaruhi oleh tipe atau jenis kendaraan, dimensi kendaraan, dan kemampuan olah gerak. SMP digunakan dalam melakukan rekayasa lalu lintas terutama dalam desain persimpangan, perhitungan waktu alat pengatur isyarat lalu lintas, atau pun dalam menentukan nisbah volume per kapasitas jalan suatu ruas jalan. Besaran SMP bervariasi menurut lokasi. Tabel berikut menunjukkan SMP yang biasanya digunakan di Indonesia.

Tabel 2.1 Nilai SMP yang biasa digunakan di Indonesia

Jenis Kendaraan	Jalan Raya	Perkotaan
Mobil penumpang, taxi, pick up, minibus	1	1
Sepeda motor	0,5-1	0,2-0,5
Bus, truk 2 dan 3 sumbu	3	2
Bus tempel, truk > 3 sumbu	4	3

Sumber: Buku Manual Kapasitas Jalan Indonesia No.036/TBM/1997

Kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber pencemar. Zat pencemar dihasilkan sebagai akibat dari pembakaran bahan bakar fosil pada mesin kendaraan. Partikulat yang dihasilkan dari penggunaan kendaraan bermotor pada kegiatan transportasi berupa sedikit karet alam, logam, asbestos dari kanvas rem, partikel timbal, dan *droplet* dari hidrokarbon yang tidak terbakar. *Droplet* yang dimaksud adalah padatan yang terkandung dalam air. Pada dasarnya, reaksi pembakaran yang terjadi dalam kegiatan transportasi adalah sebagai berikut.



Namun, ketika reaksi tersebut terjadi pada suatu keadaan dimana terdapat kelebihan karbon dan terjadi komplikasi akibat pengaruh dinding ruang pembakaran, reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.



Partikulat yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan petroleum, berupa:

1. Partikulat kasar, yang dihasilkan dari pelepasan material tidak mudah terbakar, seperti *fly ash*.
2. Partikulat halus, yang dihasilkan dari kondensasi material yang menguap selama pembakaran.
3. Partikulat sekunder, yang dihasilkan melalui reaksi atmosferik dari oksida sulfur dan oksida nitrogen yang pada dasarnya dilepas ke udara sebagai gas.

Emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor juga dipengaruhi oleh jenis bahan bakar yang digunakan. Di Indonesia, terdapat dua jenis bahan bakar yang digunakan untuk kendaraan bermotor, yaitu bensin dan solar. Berikut merupakan tabel perbandingan antara mesin kendaraan bermotor konvensional yang berbahan bakar bensin dan mesin diesel yang berbahan bakar solar.

Tabel 2.2 Perbandingan Mesin Berbahan Bakar Bensin dan Mesin Diesel

	Mesin berbahan bakar bensin	Mesin diesel
Penyebab penyalaan	Cetus api elektrik	Penyalaan spontan bahan bakar dengan pencampuran terhadap udara panas
Tekanan kompresi	8-10	16-20
Massa udara yang masuk ke mesin per revolusi	Bervariasi	Konstan
Rasio udara-bahan bakar	Konstan	Bervariasi

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Mesin Berbahan Bakar Bensin dan Mesin Diesel

	Mesin berbahan bakar bensin	Mesin diesel
Pengendalian tenaga output dan kecepatan	Membatasi aliran udara ke mesin dengan plat katup dalam karburator atau perangkat inlet udara	Memvariasikan rasio udara-bahan bakar dengan variasi jumlah bahan bakar per injeksi
Tempat pencampuran udara-bahan bakar	Dalam semua ruang pembakaran oleh sebuah karburator atau oleh injeksi ke dalam katup inlet sebelum katup terbuka	Di tengah ruang pembakaran, jauh dari dinding, oleh injeksi ke bagian tengah ruang pembakaran
Emisi CO dan HC	Tinggi	Rendah
NO _x	Rendah	Sedang
Masalah lain	-	Partikulat, bau, bising, lebih sulit dinyalakan dibandingkan dengan mesin berbahan bakar bensin
Ekonomi bahan bakar	Baik	Paling baik diantara tipe mesin pembakaran
Biaya dan berat untuk sebuah tenaga output	-	Lebih tinggi dibandingkan dengan sebuah mesin berbahan bakar bensin biasa

Sumber: Nevers, 2000.

Secara umum, hubungan antara jumlah kendaraan bermotor dan zat pencemar yang dihasilkan adalah berbanding lurus, dengan kata lain, semakin banyak jumlah sumber pencemar berupa kendaraan bermotor, semakin banyak pula emisi atau zat pencemar yang dihasilkan. Kepadatan lalu lintas berbanding lurus dengan jumlah kendaraan bermotor, yang berarti kepadatan lalu lintas yang tinggi mengindikasikan jumlah kendaraan bermotor yang banyak. Dari hubungan

tersebut, dapat dikatakan bahwa kondisi macet berarti memiliki kepadatan lalu lintas yang tinggi, kepadatan lalu lintas yang tinggi mengindikasikan jumlah kendaraan bermotor yang banyak. Jumlah kendaraan bermotor yang banyak menghasilkan emisi yang banyak pula, dimana banyaknya emisi tersebut akan meningkatkan potensi terjadinya pencemaran udara yang berefek pada penurunan kualitas udara ambien. Dengan kata lain dapat dinyatakan, kondisi macet menghasilkan emisi yang lebih banyak dan menyebabkan peningkatan potensi terjadinya pencemaran udara.

Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan kemacetan adalah dengan melakukan penambahan jumlah akses jalan yang diharapkan dapat mengimbangi jumlah kendaraan yang semakin bertambah. Pembangunan jalan tol merupakan salah satu usaha penambahan akses jalan yang telah dilakukan. Jalan Tol disebut juga sebagai jalan bebas hambatan. Jalan tol adalah suatu jalan alternatif untuk mengatasi kemacetan lalu lintas dan merupakan jalan untuk mempersingkat jarak dari satu tempat ke tempat yang lain. Jalan ini hanya diperuntukkan bagi kendaraan beroda empat atau lebih, dimana setiap pengendara yang ingin menggunakan jalan ini harus membayar tarif sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Pembayaran tarif jalan tol oleh pengendara tersebut dilakukan di pintu tol tertentu dan dilayani oleh petugas yang berada di loket pembayaran. Petugas pintu tol ini bekerja sesuai dengan *shift* kerjanya dalam jangka waktu tertentu secara rutin dan berkesinambungan.

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No.38 Tahun 2004 tentang Jalan, jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol, serta diselenggarakan untuk memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang, meningkatkan hasil guna dan daya guna pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi, meringankan beban dana pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan, serta meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan.

Berdasarkan Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No.370/ KPTS/M/2007, terdapat lima buah golongan atau jenis kendaraan yang boleh melewati ruas jalan tol. Golongan-golongan kendaraan tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 2.3 Tipe Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Jalan Tol

Golongan	Jenis Kendaraan
Golongan I	Sedan, JIP, Pick up/truk kecil, dan bus
Golongan II	Truk dengan dua gandar
Golongan III	Truk dengan tiga gandar
Golongan IV	Truk dengan empat gandar
Golongan V	Truk dengan lima gandar atau lebih

Sumber : Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No.370/KPTS/M/2007

2.5 Suspended Particulate Matter

2.5.1 Definisi dan Karakteristik Suspended Particulate Matter

Salah satu bahan pencemar udara yang diemisikan oleh kendaraan bermotor dalam kegiatan transportasi adalah debu. Debu atau partikulat digunakan untuk memberikan gambaran partikel cair maupun padat yang tersebar di udara dengan ukuran 0,001 μm sampai 500 μm . Berdasarkan lamanya partikel tersuspensi di udara dan rentang ukurannya, partikel dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu *dust fall (settleable particulate)* dan *Suspended Particulate Matter (SPM)*. Partikel yang berukuran lebih dari 100 μm disebut *dust fall*, sedangkan partikulat yang memiliki ukuran diameter antara 0,001 μm sampai 100 μm disebut sebagai *Suspended Particulate Matter (SPM)*. Beberapa literatur menyebut SPM sebagai aerosol. Partikel debu dalam emisi gas buang terdiri dari bermacam-macam komponen, termasuk asam (seperti Nitrat dan Sulfat), kimia organik, logam, dan tanah atau partikel debu.

Suspended Particulate Matter (SPM) didefinisikan sebagai partikel cair maupun padat yang tersuspensi di dalam gas. Sebagaimana yang telah dikatakan sebelumnya, ukuran partikel partikulat tersuspensi antara 0,001 μm sampai dengan 100 μm . *Suspended Particulate Matter (SPM)* tersebut akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang di udara dan masuk ke dalam tubuh manusia melalui saluran pernapasan. Selain dapat berpengaruh negatif terhadap kesehatan, SPM juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan juga menyebabkan berbagai reaksi kimia di udara. SPM

pada umumnya mengandung berbagai senyawa kimia yang berbeda, dengan berbagai ukuran dan bentuk yang berbeda pula, tergantung dari sumber emisinya.

Berdasarkan informasi yang didapat dari buku “*Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*” (Hinds, 1973), diketahui bahwa sumber pencemar partikel dapat berasal dari peristiwa alami dan dapat juga berasal dari aktivitas manusia. Pencemaran partikel yang berasal dari alam adalah sebagai berikut:

1. Debu tanah atau pasir halus yang terbang terbawa oleh angin kencang
2. Abu dan bahan-bahan vulkanik yang terlempar ke udara akibat letusan gunung berapi
3. Semburan uap air panas di sekitar daerah sumber panas bumi di daerah pegunungan

Sumber pencemaran partikel akibat aktivitas manusia sebagian besar berasal dari pembakaran batu bara, proses industri, kebakaran hutan, dan gas buangan alat transportasi.

Karakteristik partikulat debu diantaranya terdiri dari ukuran, distribusi ukuran, bentuk kepadatan, kelengketan, sifat korosif, reaktivitas, dan toksisitas. Salah satu karakteristik yang paling penting dari suspensi partikel debu adalah distribusi ukuran partikel partikulat. Ukuran partikel partikulat merupakan parameter terpenting untuk memberi ciri perilaku partikulat. Semua sifat partikulat sangat bergantung pada ukuran partikelnya. Ukuran partikel dapat menggambarkan seberapa jauh partikel dapat terbawa angin, bagaimana efek yang ditimbulkannya, darimana sumber pencemarannya, dan seberapa lama masa tinggal partikel di udara.

Karena komposisi partikulat debu udara yang rumit, banyak istilah yang digunakan untuk menyatakan partikulat debu di udara. Beberapa istilah digunakan dengan mengacu pada metode pengambilan sampel udara seperti, *Suspended Particulate Matter (SPM)*, *Total Suspended Particulate (TSP)*, dan *black smoke*. Istilah lainnya lebih mengacu pada tempat di bagian saluran pernapasan mana partikulat debu dapat mengedap, seperti *inhalable/thoracic particulate*, yaitu istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan partikulat yang mengedap di saluran pernapasan bagian bawah, yaitu di bawah pangkal tenggorokan (*larynx*).

Pada proses pembakaran, debu terbentuk dari pemecahan unsur hidrokarbon dan proses oksidasi setelahnya. Dalam debu tersebut terkandung debu sendiri dan beberapa kandungan logam oksida. Dalam proses ekspansi selanjutnya di atmosfer, kandungan logam dan debu tersebut membentuk partikulat. Beberapa unsur kandungan partikulat adalah karbon, SOF (*Soluble Organic Fraction*), debu, SO₄, dan H₂O.

Partikel udara dalam wujud padat yang berdiameter kurang dari 10 µm disebut sebagai PM₁₀, sedangkan yang berdiameter kurang dari 2,5 µm disebut sebagai PM_{2,5}. Keberadaan partikel tersebut diyakini oleh para pakar lingkungan dan kesehatan masyarakat sebagai pemicu timbulnya infeksi saluran pernapasan, karena partikel padat PM₁₀ dan PM_{2,5} dapat mengendap pada saluran pernapasan daerah *bronkus* dan *alveolus*. Partikel yang berukuran kurang dari 2,5 µm umumnya dianggap sebagai partikel halus, sedangkan yang lebih besar dari 2,5 µm dianggap sebagai partikel kasar. Rambut di dalam hidung dapat menyaring debu yang berukuran lebih besar dari 10 µm sehingga partikel dengan ukuran tersebut tidak terhirup ke dalam paru-paru. Sedangkan untuk partikel debu yang berdiameter kurang dari 10 µm dan 2,5 µm memiliki kemampuan untuk menembus ke dalam paru-paru.

2.5.2 Klasifikasi Suspended Particulate Matter (SPM)

Berdasarkan proses pembentukannya, *Suspended Particulate Matter* (SPM) dapat digolongkan menjadi partikulat primer dan sekunder. Perbedaan dari kedua jenis partikulat tersebut adalah sebagai berikut:

1. Partikulat primer adalah partikulat yang diemisikan langsung dari sumber pencemar, seperti debu yang terbawa oleh udara sebagai akibat adanya angin atau partikel asap yang dipancarkan dari cerobong.
2. Partikulat sekunder merujuk pada partikel yang dihasilkan di dalam atmosfer yang mengalami reaksi kimia dari komponen gas.

Partikulat sekunder terdiri dari 3 komponen utama, yaitu Sulfat, Nitrogen, dan *Secondary Organic Aerosol* (SOA).

Pertama adalah Sulfat. Sulfat timbul dari oksidasi atmosferik dari sulfur dioksida dan membentuk sulfur trioksida yang lebih cepat terkondensasi dengan air dan membentuk asam sulfat. Di beberapa tempat, terdapat banyak emisi

ammonia yang menetralkan asam sulfat dan membentuk partikel padat ammonium sulfat.

Kedua adalah Nitrogen. Nitrogen oksida juga dioksidasi di atmosfer membentuk asam nitrit yang mana terdapat dalam udara sebagai uap. Asam nitrit bereaksi dengan ammonia atau dengan material seperti kalsium karbonat atau natrium klorida akan membentuk partikel padat nitrat. Ketika terjadi dalam bentuk ammonium nitrat, proses pembentukannya adalah sebagai berikut:



Ammonium nitrat dapat terdisosiasi kembali menjadi asam nitrit dan ammonia, prosesnya berlangsung dengan bantuan suhu yang tinggi dan kelembaban yang relatif rendah.

Bentuk utama ketiga dari partikulat sekunder adalah *Secondary Organic Aerosol* (SOA). SOA terdiri dari senyawa organik teroksidasi yang terbentuk di atmosfer akibat reaksi VOCs. *Biogenic* VOC seperti *α -pinene* yang diemisikan oleh pohon sangat reaktif, dan di beberapa area menjadi sumber SOA yang sangat signifikan. Emisi VOC antropogenik juga dapat teroksidasi di atmosfer, membentuk suatu zat dengan kemampuan menguap lebih rendah yang terkondensasi membentuk SOA.

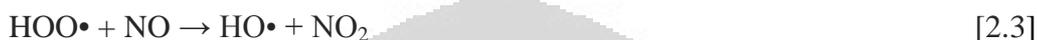
Berdasarkan teori yang didapat dari buku "*Environmental Chemistry*" yang ditulis oleh Stanley E. Manahan (2005), selain dari reaksi-reaksi di atas, partikulat sekunder juga dihasilkan dari reaksi fotokimia yang terjadi di atmosfer sebagai konsekuensi dari keberadaan senyawa oksidan di udara. Reaksi fotokimia adalah suatu reaksi kimia antara satu unsur atau senyawa dengan unsur atau senyawa lain yang terjadi dengan bantuan sinar UV yang berasal dari matahari. Salah satu partikulat sekunder yang terbentuk akibat terjadinya reaksi ini adalah Peroxyacetyl Nitrate (PAN). Berikut merupakan peristiwa terbentuknya senyawa PAN.

Terbentuknya PAN berhubungan dengan keberadaan senyawa karbonil dan NO_x di udara. Senyawa karbonil ini merupakan salah satu polutan udara organik, terdiri dari aldehid dan keton, dan terbentuk akibat reaksi oksidasi fotokimia hidrokarbon di atmosfer. Senyawa karbonil yang terdapat di udara tersebut

kemudian bereaksi dengan oksigen dengan bantuan sinar uv, dengan persamaan reaksi sebagai berikut.



Produk radikal hidroperoksil ($\text{HOO}\cdot$) dan radikal peroksil ($\text{ROO}\cdot$) dari reaksi tersebut kemudian bereaksi dengan senyawa NO yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor.



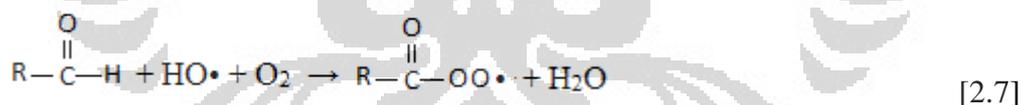
Pada kondisi dengan tingkat kelembaban udara yang tinggi, radikal hidroperoksil ($\text{HO}\cdot$) juga dihasilkan dari reaksi kimia antara atom oksigen reaktif di udara dengan air.



Radikal alkoxy ($\text{RO}\cdot$) yang dihasilkan dari reaksi [2.2] akan bereaksi dengan NO dan NO_2 .



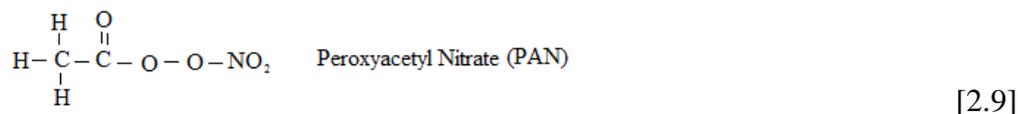
Sedangkan produk radikal hidroksil ($\text{HO}\cdot$) akan bereaksi dengan oksigen dan senyawa aldehyd lainnya di atmosfer sesuai dengan reaksi berikut.



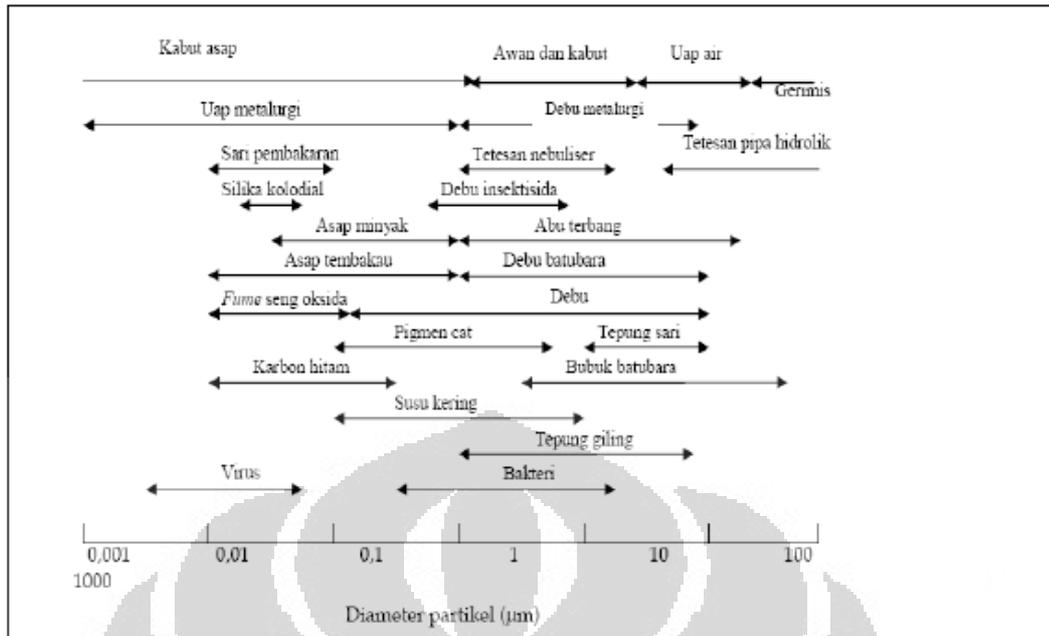
Setelah itu, gugus $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OO}\cdot$ akan bereaksi dengan NO_2 di atmosfer.



Jika gugus R pada persamaan reaksi di atas merupakan methyl group, maka produk yang dihasilkan adalah Peroxy Acetyl Nitrate (PAN).



Berikut adalah beberapa bahan partikulat udara dan ukuran jenis partikelnya.



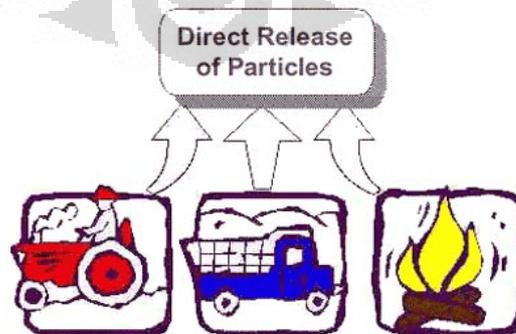
Gambar 2.1 Bahan Partikulat dan Ukuran Partikelnya

Sumber: (Suhariyono, Syarbaini, & Kusdiana, 2004)

Secara umum, partikulat dapat dibagi ke dalam dua kelompok utama berdasarkan ukurannya, yaitu:

1. Fraksi kasar, terdiri dari partikel besar dengan kisaran ukuran antara 2,5 sampai 10 μm (PM_{10} – $\text{PM}_{2,5}$).

Fraksi kasar dihasilkan dari penghancuran mekanik dari partikel padat yang lebih besar. Fraksi kasar dapat meliputi debu dari jalan, proses agrikultura, operasi tambang terbuka, serta material tidak mudah terbakar yang dilepas ketika terjadi pembakaran bahan bakar fosil. Butir serbuk sari, spora jamur dan tanaman serta bagian serangga juga dapat berkontribusi sebagai fraksi kasar.

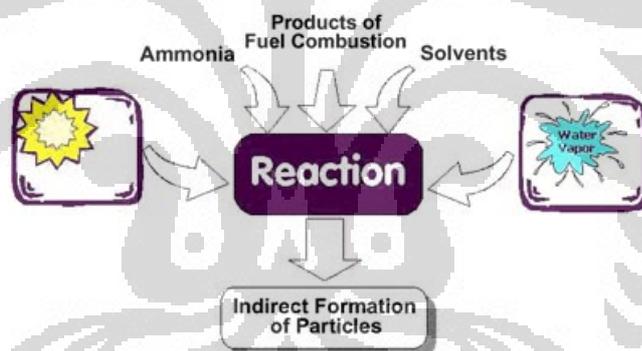


Gambar 2.2 Sumber-Sumber Penghasil Partikulat

Sumber: US EPA www.epa.gov/urbanair/pm/

2. Fraksi halus, terdiri dari partikel yang lebih kecil dengan ukuran lebih kecil dari 2,5 μm .

Partikel dalam fraksi halus yang berdiameter kurang dari 0,1 μm disebut sebagai partikel sangat halus (*ultrafine particles*). Kebanyakan fraksi halus merupakan partikulat sekunder yang terbentuk dari gas, biasanya berasal dari senyawa sulfur dan nitrogen. *Ultrafine particles* terbentuk dari proses nukleasi, dimana proses ini merupakan proses dasar perubahan gas menjadi partikel. Partikel tersebut dapat membesar hingga ukuran lebih dari 1 μm melalui proses kondensasi dan proses koagulasi. Proses kondensasi adalah proses ketika gas terkondensasi menjadi partikel yang lebih besar, sedangkan proses koagulasi adalah proses ketika dua atau lebih partikel bergabung dan membentuk partikel yang lebih besar. Empat sumber utama pembentuk partikel halus diantaranya adalah, logam berat (menguap selama pembakaran), elemen karbon (dari rantai karbon pendek yang timbul dari pembakaran), sulfat, dan nitrat.



Gambar 2.3 Proses Pembentukan Partikulat Sekunder

Sumber: US EPA www.epa.gov/urbanair/pm/

Dampak partikulat debu bentuk padat maupun cair yang berada di udara sangat tergantung kepada ukurannya. Ukuran partikulat debu yang membahayakan kesehatan umumnya berkisar antara 0,1 mikron sampai dengan sepuluh mikron. Pada umumnya ukuran partikulat debu sekitar lima mikron merupakan partikulat udara yang dapat langsung masuk ke dalam paru-paru dan mengendap di *alveolus*. Keadaan ini bukan berarti bahwa ukuran partikulat yang lebih besar dari lima mikron tidak berbahaya, karena partikulat yang lebih besar dapat mengganggu saluran pernapasan bagian atas dan menyebabkan iritasi.

Partikulat debu yang melayang dan berterbangan karena terbawa oleh angin akan menyebabkan iritasi pada mata dan dapat menghalangi daya tembus pandang mata (*Visibility*). Adanya ceceran logam beracun yang terdapat dalam partikulat debu di udara merupakan bahaya yang terbesar bagi kesehatan. Pada umumnya udara yang tercemar hanya mengandung logam berbahaya sekitar 0,01% sampai 3% dari seluruh partikulat debu di udara. Akan tetapi, logam tersebut dapat bersifat akumulatif dan kemungkinan dapat terjadi reaksi yang berpengaruh pada fungsi jaringan tubuh. Selain itu diketahui pula bahwa logam yang terkandung di udara yang dihirup mempunyai pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan dosis sama yang berasal dari makanan atau air minum.

2.5.3 Dampak yang Ditimbulkan Emisi Particulate Matter

Sistem pernapasan adalah indikator utama dampak pencemaran udara kepada manusia. Organ utama pada sistem pernapasan adalah hidung, *pharynx*, *larynx*, *trachea*, *bronkus*, dan paru-paru. Partikulat mengandung solid mikroskopis ataupun titik-titik cairan yang sangat kecil sehingga dapat masuk ke dalam paru-paru dan mengakibatkan gangguan kesehatan. Berbagai penelitian ilmiah telah menghubungkan paparan polusi partikulat sebagai penyebab berbagai gangguan kesehatan seperti :

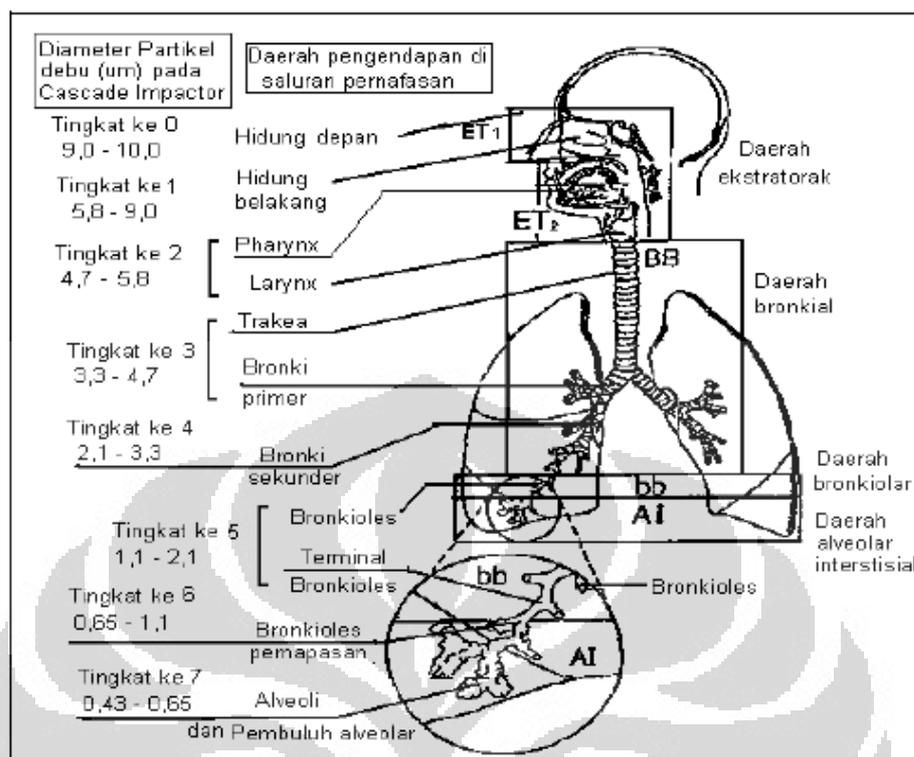
1. Peningkatan gangguan pernapasan, misalnya iritasi saluran pernapasan atas dan batuk.
2. Penurunan fungsi paru-paru
3. Menyebabkan asma pada populasi sensitif
4. Peningkatan bronkitis kronis

Pasien yang menderita bronkitis kronis memperlihatkan gejala gangguan pernapasan ketika konsentrasi TSP melebihi $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Studi di Belanda menyatakan bahwa fungsi paru-paru meningkat ketika konsentrasi TSP menurun dari $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ke $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5. Detak jantung tidak teratur
6. Serangan jantung minor
7. Kematian bagi orang dengan penyakit jantung atau paru-paru

Dampak yang ditimbulkan PM_{10} biasanya bersifat akut pada saluran pernapasan bagian bawah, seperti pneumonia dan bronkitis, baik pada anak-anak maupun orang dewasa. Salah satu partikulat yang penting dapat menyebabkan Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) adalah *mist* asam sulfat (H_2SO_4). Zat ini dapat mengiritasi membran mukosa saluran pernapasan dan menimbulkan *bronco konstriksi* karena sifatnya yang iritan. Hal ini dapat merusak saluran pertahanan pernapasan (bulu hidung, silia, selaput lender), sehingga dengan rusaknya pertahanan ini bakteri dengan mudah dapat masuk ke dalam tubuh dan menimbulkan penyakit ISPA.

Ukuran partikel merupakan faktor utama penentu dimana partikel tersebut akan diam dan beristirahat di dalam saluran pernapasan ketika terhirup. Partikel dengan ukuran tertentu dapat menembus bagian terdalam paru-paru. Partikel yang lebih besar umumnya tersaring di hidung dan tenggorokan sehingga tidak menimbulkan masalah. Namun, partikel yang lebih kecil dari $10\ \mu m$, yang disebut sebagai PM_{10} , dapat masuk hingga ke *bronkus* paru-paru dan menyebabkan masalah kesehatan. Ukuran $10\ \mu m$ memang tidak mewakili batas yang ketat antara *respirable particle* dan *non-respirable particle*, tetapi telah disepakati sebagai parameter untuk memantau konsentrasi partikel di udara oleh sebagian besar lembaga regulator. Demikian pula partikel yang lebih kecil dari $2,5\ \mu m$, yang disebut sebagai $PM_{2,5}$, juga dapat menembus ke dalam daerah pertukaran gas di paru-paru, dan partikel-partikel sangat kecil yang berukuran lebih kecil dari $100\ nm$ dapat melewati paru-paru dan kemudian mempengaruhi organ-organ lain. Berikut adalah daerah deposisi partikel udara pada saluran pernapasan manusia.



Gambar 2.4 Daerah Deposisi Partikel Udara Pada Saluran Pernapasan Manusia

Sumber: (Suhariyono, Syarbaini, & Kusdiana, 2004)

2.5.4 Rute Paparan Particulate Matter

Sistem inhalasi merupakan satu-satunya rute paparan yang menjadi perhatian dalam hubungannya dengan dampak terhadap kesehatan. Walau demikian ada juga beberapa senyawa lain yang melekat bergabung pada partikulat, seperti Timbal (Pb) dan senyawa beracun lainnya, yang dapat memajan tubuh manusia melalui rute lain.

2.6 Kajian Dampak Lingkungan

Para petugas pintu tol yang terpajan oleh zat pencemar yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor memiliki resiko mengalami gangguan kesehatan dengan tingkat tertentu. Resiko didefinisikan sebagai probabilitas dampak merugikan untuk terjadi pada suatu organisme, sistem, atau subpopulasi yang disebabkan oleh pemajanan suatu zat pencemar atau *risk agent* dalam keadaan tertentu (IPCS, 2004). Tingkat resiko paparan zat pencemar terhadap petugas pintu tol dapat diketahui melalui kajian dampak kesehatan lingkungan.

Kajian dampak lingkungan terhadap kesehatan dapat dilakukan dengan dua model, yaitu studi Epidemiologi Kesehatan Lingkungan (EKL) dan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). EKL menyelidiki kejadian dan distribusi penyakit, cedera atau kematian menurut orang, tempat, dan waktu (Griffith *et.al*, 1993 ; WHO, 1983), sedangkan ARKL adalah proses perhitungan atau prakiraan resiko pada suatu organism sasaran, system atau subpopulasi, termasuk identifikasi ketidakpastian-ketidakpastian yang menyertainya, setelah terpajan oleh *agent* tertentu, dengan memerhatikan karakteristik yang melekat pada *agent* itu dan karakteristik system sasaran yang spesifik (IPCS, 2004). Model kajian dampak lingkungan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah ARKL. Data yang dibutuhkan untuk ARKL, yaitu:

1. Jenis spesi kimia *risk agent*
2. Dosis Referensi untuk setiap jenis spesi kimia *risk agent*
3. Media lingkungan tempat *risk agent* berada (udara, air, tanah, pangan)
4. Konsentrasi *risk agent* dalam media lingkungan yang bersangkutan.

Berdasarkan informasi yang didapat dari *paper* yang berjudul “*Public Health Assessment: Model Kajian Prediktif Dampak Lingkungan dan Aplikasinya Untuk Manajemen Resiko Kesehatan*” (Rahman, 2007), diketahui bahwa pada dasarnya terdapat dua buah kajian ARKL, yaitu ARKL Meja dan ARKL Lengkap. ARKL meja adalah penghitungan estimasi resiko dengan segera tanpa harus mengumpulkan data dan informasi baru dari lapangan, dan hanya membutuhkan konsentrasi *risk agent* dalam media lingkungan, dosis referensi *risk agent*, dan nilai default faktor-faktor antropometri pemajanan untuk menghitung asupan. Sedangkan ARKL lengkap hampir sama dengan ARKL meja, tetapi didasarkan pada data lingkungan dan faktor-faktor pemajanan antropometri sebenarnya yang didapat dari lapangan.

Penentuan apakah resiko yang terjadi membutuhkan pengendalian atau tidak didasarkan pada nilai Risk Quotient (RQ) yang didapat dari hasil perhitungan. Nilai RQ yang lebih besar dari sama dengan satu mengindikasikan bahwa resiko yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan butuh pengendalian, sedangkan nilai RQ yang kurang dari satu mengindikasikan bahwa resiko yang terjadi masih

dalam batas aman dan belum membutuhkan pengendalian. Nilai RQ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Risk Quotient (RQ)} = \frac{I}{RfC} \quad (2.1)$$

Dimana, I adalah asupan inhalasi (mg/kg/hari) dan RfC adalah dosis referensi (mg/kg/hari). Nilai asupan inhalasi (I) dapat diperoleh dari analisis pajanan, sedangkan nilai RfC dapat diperoleh dari analisis dosis-respon.

2.6.1 Analisis Pemajanan

Analisis pemajanan bertujuan untuk mengenali jalur-jalur pajanan *risk agent* agar jumlah asupan yang diterima individu dalam populasi beresiko bisa dihitung (ATSDR; Louvar & Louvar, 1998). *Total Suspended Particulate* (TSP) dalam penelitian ini merupakan *risk agent* yang memiliki satu rute pemajanan, yaitu melalui udara pada saluran inhalasi. Asupan inhalasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \quad (2.2)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

- I = asupan inhalasi (mg TSP/kg berat badan individu/hari)
- C = konsentrasi TSP di udara (mg/m³)
- R = laju inhalasi (m³/jam)
- T_E = lama pajanan (jam/hari)
- F_E = frekuensi pajanan (hari/tahun)
- D_t = durasi pajanan (tahun)
- W_b = berat Badan individu (kg)
- T_{avg} = periode waktu rata-rata (30 tahun x 365 hari/tahun untuk non karsinogenik)

Untuk ARKL meja, nilai laju inhalasi (R) pada perhitungan asupan inhalasi dapat diisi dengan nilai literatur yang dikeluarkan oleh U.S.EPA. Berikut adalah tabel laju inhalasi *default* yang dikeluarkan oleh EPA.

Tabel 2.4 Default Parameter Antropometri yang Dikeluarkan Oleh U.S EPA

Reseptor	Laju inhalasi (m ³ /jam)
Anak-anak	0,5
Dewasa (IRT)	0,83
pekerja	0,83

Sumber : Exposure Factors Handbook, U.S EPA-600/8-89/043,1990.

2.6.2 Analisis Dosis-Respon

Analisis dosis-respon bertujuan untuk menetapkan nilai kuantitatif toksisitas dari suatu *risk agent*. Tingkat toksisitas dinyatakan sebagai suatu nilai yang disebut dosis referensi (*reference dose*) untuk efek nonkarsinogenik dan *Cancer Slope Factor (CSF)* atau *Cancer Unit Risk (CCR)* untuk efek karsinogenik. *Risk agent* dalam penelitian ini adalah TSP yang memiliki sifat nonkarsinogenik, sehingga istilah tingkat toksisitas yang akan digunakan adalah dosis referensi.

Dosis Referensi adalah nilai yang menunjukkan toksisitas kuantitatif dari zat nonkarsinogenik yang menyatakan estimasi dosis pajanan harian yang diperkirakan tidak menimbulkan efek merugikan kesehatan meskipun pajanan berlanjut sepanjang hayat (IPCS, 2004). Dosis referensi dibedakan untuk pajanan oral atau tertelan dan untuk pajanan inhalasi. Dosis referensi untuk pajanan oral disebut *RfD*, sedangkan untuk pajanan inhalasi disebut sebagai *reference concentration (RfC)*. Rute pajanan dari TSP adalah pajanan melalui inhalasi, sehingga istilah dosis referensi yang akan digunakan adalah *reference concentration (RfC)*.

Dalam analisis dosis-respon, dosis dinyatakan sebagai *risk agent* yang terhirup per kg berat badan per hari (mg/kg/hari). Respon atau efek nonkarsinogenik atau efek sistemik yang ditimbulkan oleh dosis *risk agent* tersebut dapat bermacam-macam, mulai dari yang bersifat sementara, kelainan fungsional yang kronik, hingga kematian.

Nilai *RfC* diperoleh dari data *no-observed adverse effect level (NOAEL)* atau *lowest observed adverse effect level (LOAEL)* yang ditentukan melalui studi pajanan manusia atau hewan. NOAEL adalah dosis tertinggi suatu zat pada studi toksisitas kronik atau subkronik yang secara statistik atau biologis tidak menunjukkan efek merugikan pada hewan uji atau pada manusia, sedangkan yang

disebut sebagai LOAEL adalah dosis terendah yang menimbulkan efek. Ketika nilai ambang aktualnya untuk populasi secara keseluruhan tidak dapat ditentukan secara pasti, maka digunakan faktor keamanan dan faktor ketidaktentuan untuk NOAEL atau LOAEL. Hal ini memastikan *RfC* diatur pada tingkat yang sesuai untuk melindungi populasi yang sensitif (orang tua, lemah, atau sangat muda). Nilai *RfC* dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$RfD \text{ atau } RfC = \frac{NOAEL \text{ atau } LOAEL}{UF_1 \times UF_2 \times UF_3 \times UF_4 \times MF} \quad (2.3)$$

Dimana, UF adalah *uncertainty factor* dan MF adalah *modifying factor* yang bernilai antara 1 hingga 10 untuk mengakomodasi kekurangan atau kelemahan studi yang tidak tertampung UF. Penentuan nilai UF dan MF berdasarkan subjektivitas. Penentuan dosis-respon suatu *risk agent* merupakan suatu hal yang sulit. Proses ini membutuhkan data, informasi studi toksisitas yang asli dan lengkap, ahli-ahli kimia, toksikologi, farmakologi, biologi, epidemiologi, dan spesialis lainnya yang berhubungan dengan toksisitas dan farmakologi zat. Namun, untuk memudahkan penerapan dan aplikasi nilai tersebut dalam suatu penelitian, saat ini nilai *RfD* dan *RfC*, *SF*, dan *UCR* untuk beberapa *risk agent* telah dikeluarkan oleh U.S EPA melalui sumber data *Integrated Risk Information System (IRIS)*. Terdapat ratusan spesi kimia zat yang telah dimasukkan ke dalam daftar IRIS dan sudah ditabulasi sehingga bisa langsung digunakan (Louvar & Louvar, 1998). Berikut adalah nilai *RfC* yang dikeluarkan oleh U.S EPA melalui IRIS.

Tabel 2.5 Nilai *RfC* yang Dikeluarkan Oleh U.S EPA

No	Risk Agent	<i>RfC</i>	Efek Kritis
1	SO ₂	26E-2	Gangguan saluran pernapasan
2	NO ₂	2E-2	Gangguan saluran pernapasan
3	H ₂ S	2E-3	Lesi Nasal Lender Olfaktori pada uji hayati tikus inhalasi subkronik
4	NH ₃	1E-1	Kenaikan keparahan rhinitis dan pneumonia dengan lesi pernapasan pada uji hayati tikus subkronik
5	TSP	2,42	Gangguan saluran pernapasan

Sumber: Integrated Risk Information System (IRIS), U.S. EPA, 1998.

2.7 Timbal

Timbal atau timah hitam merupakan salah satu zat yang dapat terukur sebagai *Total Suspended Particulate* (TSP). Timah hitam (Pb) adalah logam lunak yang berwarna kebiru-biruan atau abu-abu keperakan dengan titik leleh pada 327,5°C dan titik didih 1.740°C pada tekanan atmosfer. Timbal merupakan material yang telah didistribusikan secara luas dan merupakan logam beracun yang tidak dapat terdegradasi pada lingkungan. Senyawa Pb-organik seperti TEL (*Tetraethyl Lead*) dan TML (*Tetramethyl Lead*) merupakan senyawa yang paling penting karena banyak digunakan sebagai zat aditif pada bahan bakar bensin. TEL berbentuk cairan dengan kerapatan 1,659 g/ml, titik didih 200°C, dan larut dalam bensin. Material tersebut telah ditambahkan pada bensin sejak tahun 1920an sebagai agen anti ketukan, untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mesin kendaraan. Bensin bertimbal lebih menyebabkan pajanan timbal pada lingkungan dibandingkan dengan sumber lainnya (Landrigan, 2002).

Pembakaran Pb-alkil sebagai zat aditif pada bahan bakar kendaraan bermotor merupakan bagian terbesar dari seluruh emisi Pb ke atmosfer. Berdasarkan estimasi skitar 80–90% Pb di udara ambien berasal dari pembakaran bensin, dimana persentase tersebut tidak sama antara satu tempat dengan tempat lain karena tergantung pada kepadatan kendaraan bermotor dan efisiensi upaya untuk mereduksi kandungan Pb pada bensin. Berdasarkan standar baku mutu udara ambien yang tercantum pada PP No.41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, diketahui batas maksimum kandungan Pb yang diizinkan yang terkandung di udara adalah sebesar 2 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk waktu pengukuran 24 jam.

2.7.1 Dampak Pajanan Timbal

Timbal (Pb) adalah logam yang bersifat toksik terhadap manusia, yang dapat berasal dari tindakan mengonsumsi makanan, minuman, atau melalui inhalasi dari udara, debu yang tercemar Pb, kontak lewat kulit, kontak lewat mata, dan lewat parenteral. Di dalam tubuh manusia, Pb dapat menghambat aktivitas enzim yang terlibat dalam pembentukan hemoglobin (Hb) dan sebagian kecil Pb diekskresikan melalui urin atau feses karena sebagian terikat oleh protein, sedangkan sebagian lagi terakumulasi dalam ginjal, hati, kuku, jaringan lemak,

dan rambut. Waktu paruh Pb dalam eritrosit adalah selama 35 hari, dalam jaringan ginjal dan hati selama 40 hari, sedangkan waktu paruh dalam tulang adalah selama 30 hari. Tingkat ekskresi Pb melalui sistem urinaria adalah sebesar 76 %, gastrotestinal 16 %, dan rambut, kuku, serta keringat sebesar 8 %.

Gejala klinis keracunan timah hitam pada individu dewasa tidak akan timbul pada kadar Pb yang terkandung dalam darah di bawah 80 µg Pb/100 g darah namun hambatan aktivitas enzim untuk sintesis haemoglobin sudah terjadi pada kandungan Pb normal (30–40 µg). Timah Hitam berakumulasi di rambut sehingga dapat dipakai sebagai indikator untuk memperkirakan tingkat pemaparan atau kandungan Pb dalam tubuh.

Absorpsi timah hitam dari lingkungan tidak semata-mata hanya bergantung pada bentuk fisik dan kimia dari logam tersebut, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor-faktor *host* seperti umur, status fisik, kondisi fisik, dan faktor genetik. Absorpsi melalui pernapasan merupakan jalur utama pada pemaparan timah hitam. Timah hitam yang diabsorpsi tubuh akan mengikat sel darah merah, kemudian didistribusi ke dalam darah, cairan ekstraseluler, dan beberapa tempat deposit jaringan lunak (hati, ginjal, dan saraf), dan jaringan mineral (tulang dan gigi).

Pada tingkat yang rendah dapat menyebabkan pembentukan haemoglobin, psikologi, dan fungsi saraf menurun. Paparan pada tingkat yang tinggi dapat merusak hampir seluruh organ dan sistem organ, khususnya sistem saraf pusat, ginjal dan darah, dan puncaknya adalah kematian pada tingkat yang berlebih. Hal yang perlu diperhatikan bahwa zat ini juga berbahaya bagi wanita hamil, dimana zat ini dapat bertindak sebagai zat penggugur kandungan (Satin *et.al.*, 1991; Goyer, 1996; Ghai *et.al.*, 2003). Sistem saraf pada fetus sangat rentan terhadap timbal, yang mana dapat menyebar menuju plasenta dan merasuk hingga darah pada otak. Dalam kasus keracunan timbal pada anak-anak, kebanyakan berakhir pada kerusakan otak yang bersifat tidak berbalik dan penurunan mekanisme daya tahan tubuh. Gejala keracunan kronis bisa menyebabkan hilang nafsu makan, konstipasi lelah sakit kepala, anemia, kelumpuhan anggota badan, kejang dan gangguan penglihatan.

Secara umum, keberadaan polutan Pb di udara ambien dapat menyebabkan dampak sebagai berikut:

1. mengganggu biosintesis haemoglobin dan menyebabkan anemia
2. menyebabkan kenaikan tekanan darah dan kerusakan ginjal
3. mengganggu sistem saraf, dimana Pb dapat menimbulkan kerusakan otak dengan gejala epilepsi, halusinasi, dan kerusakan otak besar.
4. menurunkan IQ dan konsentrasi
5. menurunkan fertilitas pria melalui perusakan sperma
6. menghambat perkembangan sel otak embrio pada Ibu hamil, serta dapat menyebabkan kematian janin waktu lahir
7. penurunan kemampuan belajar anak
8. gangguan kebiasaan anak, seperti agresif, hiperaktif, dan lain-lain.
9. Bersifat karsinogenik dalam dosis tinggi

Toksisitas Pb bersifat kronis dan akut. Toksisitas kronis sering dijumpai pada pekerja tambang dan pabrik pemurnian logam, pabrik mobil (proses pengecatan), pembuatan baterai, percetakan, pelapisan logam, dan pengecatan. Paparan Pb secara kronis dapat mengakibatkan kelelahan, kelesuan, gangguan iritabilitas, gangguan gastrointestinal, kehilangan libido, infertilitas pada pria, gangguan menstruasi, depresi, sakit kepala, dan sulit tidur.

2.7.2 Hubungan Paparan Timbal dengan Penggunaan Bensin Bertimbal

Beberapa penelitian menghasilkan penurunan paparan timbal melalui penggunaan bensin tanpa timbal (Lovei, 1996, 1999; Thomas *et.al.*, 1999; Tong *et.al.*, 2000; Landrigan, 2000). Bensin bertimbal digantikan dengan bensin bebas timbal yang mana bahan penambahnya berupa etanol atau logam berat mangan sebagai pengganti timbal. Jepang merupakan negara pertama yang mengurangi kandungan timbal pada bensin akibat laporan kontaminasi limbah yang meluas di Tokyo tahun 1970.

PBB kemudian menghimbau seluruh pemerintah di dunia untuk mengganti bensin bertimbal dengan bensin tanpa timbal pada tahun 1994. Pada akhir tahun 1996, hanya 14 negara yang berhasil melakukan penggantian tersebut, dengan kata lain, bensin tanpa timbal sangat jarang di beberapa negara asia dan afrika, kandungan timbal dalam bensin pada negara-negara tersebut mencapai 0,8 g/L

atau lebih pada saat itu. Pada beberapa tahun belakangan, Bangladesh, Cina, Mesir, Haiti, Honduras, Hungaria, Kuwait, Nikaragua, Malaysia, dan Thailand berhasil menerapkan program bensin bebas timbal (Lovei, 1996, 1999).

2.8 Kondisi Pencemaran Udara Akibat Transportasi di Indonesia

Pencemaran udara sebagian besar diakibatkan oleh emisi kendaraan bermotor di kota-kota besar seperti Jakarta, Bandung, Semarang, Surabaya, Medan, dan kota-kota besar lainnya di Indonesia yang semakin hari semakin meningkat. Jumlah kendaraan bermotor pada akhir tahun 2006 adalah sekitar 54 juta, dimana diperkirakan akan mencapai lebih dari 280 juta pada tahun 2020.



Gambar 2.5 Kegiatan Transportasi Sebagai Penyumbang Polutan di Udara

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

Berdasarkan hasil pemantauan Kementerian Lingkungan Hidup melalui *Air Quality Monitoring Station* (AQMS), dari sepuluh kota besar di Indonesia, enam diantaranya, yaitu Jakarta, Surabaya, Bandung, Medan, Jambi, dan Pekanbaru hanya memiliki udara berkategori baik selama 22 hari sampai 62 hari dalam setahun atau tidak lebih dari 17%. Di Pontianak dan Palangkaraya, penduduk harus menghirup udara dengan kategori berbahaya masing-masing selama 88 hari dan 22 hari. Berdasarkan data AQMS, kualitas udara kategori baik di Jakarta selama tahun 2001 hanya 75 hari. Pada tahun 2002, angka itu menurun menjadi 22 hari dan pada tahun 2003 sebanyak 26 hari. Sementara pada tahun 2004, warga Jakarta hanya dapat menikmati udara dengan kategori baik selama 18 hari dalam kurun waktu satu tahun. Keterangan tersebut didasarkan pada hasil pemantauan alat monitoring udara ambien. Sedangkan data dari sejumlah kota besar yang lain menyatakan pasokan udara bersih tidak lebih dari 60 hari per tahun.

Udara yang tercemar yang tidak memenuhi baku mutu udara ambien dapat meningkatkan berbagai jenis penyakit seperti Infeksi Saluran Pernapasan Akut

(ISPA). Saat ini tercatat lebih dari dua dasawarsa untuk aspek kesehatan yang terjadi akibat dampak pencemaran udara dari kendaraan bermotor berupa penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) dan gangguan pernapasan lain yang selalu menduduki peringkat dari sepuluh penyakit terbanyak yang dilaporkan oleh pusat-pusat pelayanan kesehatan masyarakat seperti puskesmas, klinik, dan rumah sakit.

Profil kesehatan DKI Jakarta pada tahun 2004 (Asdep Emisi KLH, 2007) menunjukkan bahwa:

1. Sekitar 46 % penyakit gangguan pernapasan terkait dengan pencemaran udara. Penyakit tersebut terdiri dari 43% ISPA, 1,7% iritasi mata, dan 1,4% asma.
2. Sekitar 32% kematian kemungkinan terkait dengan pencemaran udara, dimana penyebab kematian tersebut terdiri dari 28,35% penyakit jantung dan paru-paru, serta 3,7% pneumonia.

Pada tahun yang sama, profil kesehatan Daerah Istimewa Yogyakarta menunjukkan bahwa, sebanyak 32% penyakit gangguan pernapasan terkait dengan pencemaran udara, yang terdiri dari 22% ISPA, 7,7% gangguan pernapasan lain, dan 2,2% asma. Kecenderungan yang sama terhadap penyakit-penyakit saluran pernapasan juga terlihat pada data di kota-kota besar lain, seperti Bandung, Medan, Surabaya, dan Makassar.

Dari uraian tersebut dapat dilihat bahwa pencemaran udara yang diakibatkan oleh emisi kendaraan bermotor memiliki dampak terhadap kesehatan manusia dan menimbulkan kerugian yang tidak sedikit. Petugas pintu tol adalah salah satu pihak yang terpapar oleh emisi tersebut dalam jangka waktu tertentu dan berkesinambungan yang mungkinsaja dapat menyebabkan efek jangka panjang.

2.9 Hipotesis

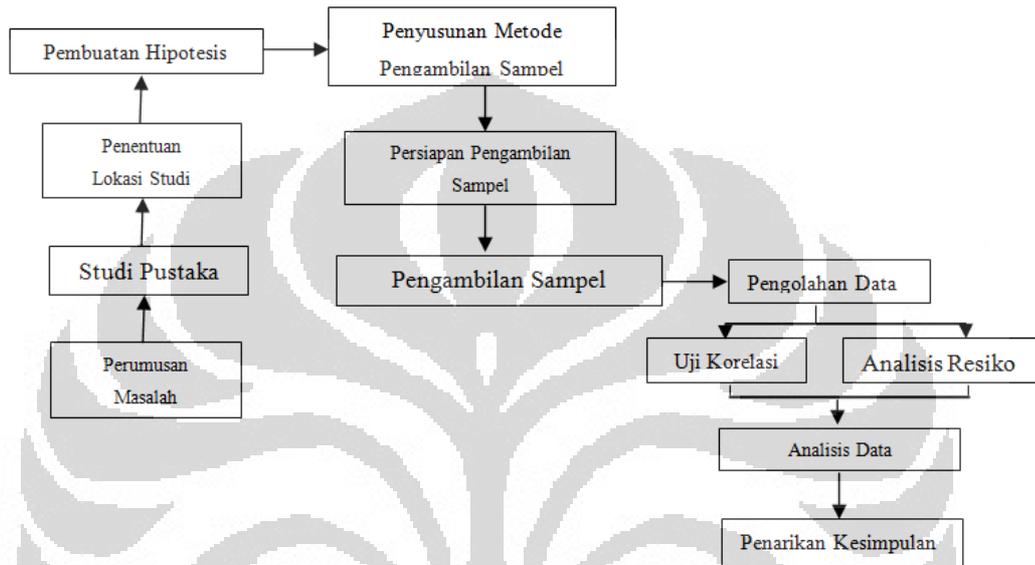
Dari semua landasan teori tersebut dapat dibuat hipotesis sebagai berikut:

1. Tingkat volume lalu lintas kendaraan yang melintasi pintu tol diduga berpengaruh terhadap tingkat konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) di udara ambien di sekitar pintu tol.
2. Terdapat nilai konsentrasi TSP hasil pengukuran yang nilainya melebihi baku mutu udara ambien yang berlaku pada waktu-waktu tertentu.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Konsep Metode Penelitian

Berikut adalah bagan alir metode penelitian yang akan digunakan dalam penelitian.



Gambar 3.1 Bagan Alir Metode Penelitian

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian akan dilakukan di pintu tol Cililitan 2. Pada lokasi ini, terdapat lima buah gardu pintu tol. Berikut adalah peta lokasi pintu tol Cililitan 2 yang digunakan sebagai lokasi studi dalam penelitian. Lokasi yang dilingkari dengan warna hitam merupakan lokasi yang dimaksud.



Gambar 3.2 Peta Lokasi Studi Penelitian Pintu Tol Cililitan 2

Sumber: Peta Jakarta 2010

Lokasi ini dipilih atas dasar beberapa pertimbangan tertentu, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Terletak pada ruas jalan tol dengan volume lalu lintas tertinggi dibandingkan dengan ruas jalan tol lainnya di Jakarta berdasarkan data volume lalu lintas kendaraan yang dikeluarkan oleh Jasamarga.
2. Seringnya terjadi kemacetan di pintu tol ini pada pagi hari di hari-hari kerja. Terjadinya kemacetan tersebut akan berdampak pada penghasilan polutan atau emisi kendaraan bermotor yang lebih banyak dibandingkan dengan kondisi lancar. Banyaknya polutan yang dihasilkan kemudian akan mempengaruhi kualitas udara ambien di sekitar pintu tol.
3. Memiliki jumlah pintu tol cukup banyak yang dapat memudahkan untuk proses pengumpulan data dalam jumlah yang cukup, sehingga dapat dilakukan proses pengolahan data dan analisis yang lebih akurat.
4. Pintu tol yang memenuhi kualifikasi yang diinginkan dan terletak paling dekat dengan Laboratorium Teknik Penyehatan Lingkungan di Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

3.3. Populasi dan Sampel

Populasi adalah kumpulan dari keseluruhan pengukuran, objek, atau individu yang sedang dikaji. Populasi dari penelitian ini adalah seluruh jumlah kendaraan dari berbagai tipe golongan yang melintasi pintu Tol Cililitan. Sedangkan sampel adalah sebagian atau *subset* dari suatu populasi. Sampel dalam penelitian ini adalah kendaraan dari berbagai tipe golongan yang melintasi pintu Tol Cililitan ketika sedang dilakukan proses pengambilan sampel. Jenis pengambilan sampel yang digunakan adalah *nonprobability sampling*, yaitu teknik pengambilan sampel yang memberi peluang atau kesempatan yang tidak sama bagi setiap unsur atau anggota populasi untuk dipilih menjadi sampel. Teknik *nonprobability sampling* yang digunakan adalah *Convenience sampling* atau *Accidental sampling*, yaitu teknik penentuan sampel berdasarkan kebetulan. Pada teknik pengambilan sampel ini, siapa saja yang kebetulan bertemu dengan peneliti saat melakukan pengambilan sampel, dapat digunakan sebagai sampel apabila subjek yang kebetulan ditemui tersebut dianggap cocok sebagai sumber data.

3.4. Variabel

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas adalah variabel yang berubah-ubah sesuai dengan kondisi tertentu, sedangkan variabel terikat adalah variabel yang kondisi atau nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel bebas dinyatakan dalam variabel X, sedangkan variabel terikat dinyatakan dalam variabel Y.

Dalam penelitian ini, terdapat dua buah analisis, yaitu analisis volume kendaraan untuk tiap jenis golongan kendaraan terhadap nilai konsentrasi TSP yang terukur dan analisis volume kendaraan total terhadap nilai konsentrasi TSP yang terukur. Analisis volume kendaraan untuk tiap jenis golongan kendaraan terhadap nilai konsentrasi TSP yang terukur dilakukan dengan menggunakan metode regresi linear berganda, sedangkan analisis volume kendaraan total terhadap nilai konsentrasi terukur dilakukan dengan menggunakan metode regresi sederhana.

3.4.1 Variabel pada Analisis Volume kendaraan Tiap Golongan Kendaraan Terhadap Nilai Konsentrasi TSP Terukur

Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, analisis ini dilakukan dengan metode regresi linier berganda. Dalam metode ini, variabel X adalah volume lalu lintas kendaraan yang melintasi pintu tol dalam rentang waktu satu jam. Variabel X ini terdiri dari lima variabel bebas spesifik X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , dan X_5 , dengan keterangan sebagai berikut:

X_1 = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan I yang melintasi pintu tol

X_2 = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan II yang melintasi pintu tol

X_3 = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan III yang melintasi pintu tol

X_4 = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan IV yang melintasi pintu tol

X_5 = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan V yang melintasi pintu tol

Penggolongan jenis kendaraan tersebut sesuai dengan penggolongan jenis kendaraan yang melewati ruas jalan tol yang tercantum pada Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No.370/KPTS/M/2007 tentang penetapan golongan jenis kendaraan bermotor pada ruas jalan tol yang sudah beroperasi dan besarnya tarif tol pada beberapa ruas jalan tol. Keterangan dari tiap golongan kendaraan yang telah ditetapkan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Golongan I, terdiri dari mobil penumpang, JIP, *Pick Up* atau truk kecil, dan bus
2. Golongan II adalah truk dengan dua gandar
3. Golongan III adalah truk dengan tiga gandar
4. Golongan IV adalah truk dengan empat gandar
5. Golongan V adalah truk dengan lima gandar atau lebih.

Variabel Y adalah besarnya konsentrasi TSP di udara ambien sekitar pintu tol dalam jangka waktu pengukuran satu jam.

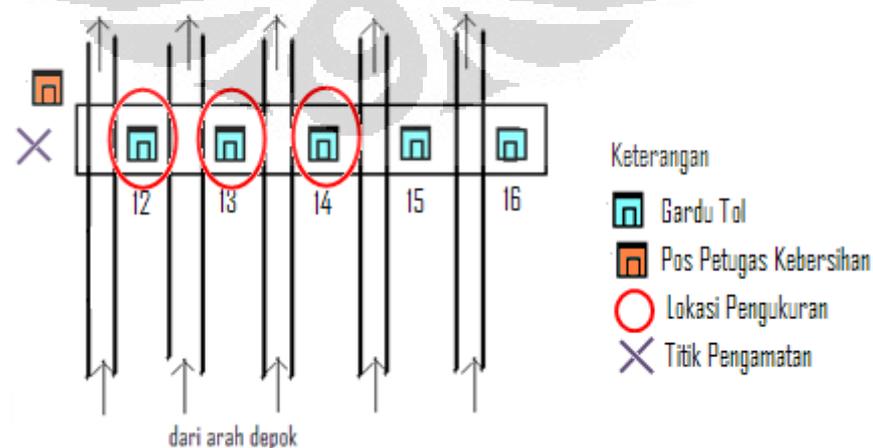
3.4.2 Variabel pada Analisis Volume kendaraan Total Terhadap Nilai Konsentrasi TSP Terukur

Analisis volume kendaraan total terhadap nilai konsentrasi TSP yang terukur dilakukan dengan menggunakan metode regresi linear sederhana. Dalam analisis tersebut, volume kendaraan total dijadikan sebagai variabel X, sedangkan konsentrasi TSP hasil pengukuran selama satu jam dijadikan sebagai variabel Y.

3.5. Metode Pengambilan Sampel

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengambilan sampel udara pada beberapa gardu pintu tol. Di pintu tol Cililitan 2 ini terdapat lima buah gardu tol, yaitu gardu 12, gardu 13, gardu 14, gardu 15, dan gardu 16. Untuk mendapatkan data yang menggambarkan kondisi ruas jalan tol secara keseluruhan berkaitan dengan distribusi kendaraan pada tiap gerbang, pengambilan sampel pada gerbang tol dilakukan pada tiga gerbang yang berbeda, yaitu gerbang 12, gerbang 13, dan gerbang 14. Kondisi lalu lintas yang terjadi di gerbang 12 diasumsikan sama dengan yang terjadi pada gerbang 16. Asumsi ini didasarkan pada letak kedua gerbang yang sama-sama terletak pada sisi terluar ruas jalan tol. Seperti halnya gerbang 12, kondisi lalu lintas yang terjadi di gerbang 13 juga diasumsikan sama dengan yang terjadi pada gerbang 15. Asumsi ini juga didasarkan pada letak kedua gerbang yang simetris.

Selain itu, pemilihan titik pengukuran tersebut juga didasarkan pada letak titik pengamatan, dimana pengamatan dilakukan pada wilayah yang ditandai dengan huruf X pada gambar lay out tata letak susunan gardu. Dari titik pengamatan tersebut, lajur ruas jalan tol yang lebih mudah untuk diamati adalah lajur yang melewati gardu 12, gardu 13, dan gardu 14. Berikut merupakan gambar *lay out* tata letak gardu tol pada pintu tol Cililitan 2. Bagian yang dilingkari dengan warna merah merupakan lokasi gardu yang akan dilakukan pengukuran dan pengamatan, sedangkan bagian yang diberi tanda X merupakan titik pengamatan.



Gambar 3.3 Lay Out Tata Letak Susunan Gardu Pada Pintu Tol Cililitan 2

Tiap gerbang tol tersebut masing-masing dilakukan pengukuran konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) pada satu hari kerja dan satu hari libur, sehingga didapatkan jumlah total hari pengambilan sampel sebanyak enam hari dengan perincian tiga hari kerja dan tiga hari libur. Pengukuran konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) dalam satu hari dilakukan per jam selama rentang waktu pengukuran mulai dari pukul 06.00 hingga pukul 13.00. Rentang waktu pengukuran tersebut ditentukan berdasarkan waktu kerja petugas pintu tol *shift* 1 yang bekerja mulai dari pukul 05.00 hingga pukul 13.00. Rentang waktu ini juga digunakan sebagai batasan studi dalam penelitian dengan pertimbangan bahwa kebanyakan aktivitas masyarakat dilakukan pada pagi dan siang hari.

Pengukuran konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) dilakukan dengan metode Gravimetrik menggunakan alat *High Volume Air Sampler* (HVAS) untuk melakukan pengambilan sampel udara. Alat tersebut disediakan oleh Laboratorium Teknik Penyehatan Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Pada penggunaannya, alat ini diletakkan di atas *tripod* setinggi kira-kira 1,5 meter dan dioperasikan dengan menggunakan arus listrik bertegangan 220 Volt.

Selain dilakukan pengukuran terhadap konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP), juga dilakukan pengukuran terhadap volume lalu lintas kendaraan yang melintasi pintu tol. Volume lalu lintas kendaraan diukur dengan menghitung jumlah kendaraan yang melintasi pintu tol tiap jam mulai dari pukul 06.00 hingga pukul 13.00, sehingga diperoleh volume lalu lintas kendaraan dalam satuan jumlah kendaraan/jam.

Hasil penghitungan jumlah kendaraan tersebut kemudian dikonversi menjadi Satuan Mobil Penumpang. Satuan Mobil Penumpang (SMP) adalah angka satuan kendaraan dalam hal kapasitas jalan. Konversi tersebut dapat dilakukan dengan mengalikan jumlah kendaraan yang terhitung di lapangan dengan nilai faktor SMP sesuai dengan buku Manual Kapasitas Jalan Indonesia No.036/TBM/1997. Berikut adalah nilai faktor SMP yang digunakan dalam proses konversi jumlah kendaraan menjadi Satuan Mobil Penumpang.

Tabel 3.1 Nilai Faktor Satuan Mobil Penumpang yang Digunakan

Jenis Kendaraan	Jalan Raya
Mobil penumpang, taxi, pick up, minibus	1
Bus, truk 2 dan 3 sumbu	3
Bus tempel, truk > 3 sumbu	4

Sumber: Buku Manual Kapasitas Jalan Indonesia No.036/TBM/1997

3.6. Waktu Pengambilan Sampel Udara

Total waktu pengambilan sampel udara adalah enam hari. Penentuan hari pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan aturan sebagai berikut.

1. Sampel untuk hari kerja diambil pada rentang waktu dari hari Senin hingga hari Jumat dengan asumsi bahwa hari Senin hingga hari Jumat memiliki karakteristik hari yang sama, dan;
2. Sampel untuk hari libur diambil pada hari Sabtu atau Minggu.

Penentuan hari spesifik untuk masing-masing sampel hari kerja dan hari libur dilakukan secara acak, menyesuaikan dengan jadwal perkuliahan yang dijalani selama proses pengambilan sampel berlangsung. Berikut adalah jadwal pengambilan sampel kualitas udara yang dilakukan dalam penelitian ini, dimana tiap pengambilan sampel dilakukan dari pukul 06.00 hingga pukul 13.00.

Tabel 3.2 Jadwal Pengambilan Sampel Kualitas Udara

Gerbang Tol	Hari kerja	Hari libur
Gerbang Tol 12	Rabu, 12 Januari 2011	Minggu, 27 Februari 2011
Gerbang Tol 13	Selasa, 18 Januari 2011	Sabtu, 15 Januari 2011
Gerbang Tol 14	Rabu, 23 Februari 2011	Sabtu, 26 Februari 2011

3.7. Metode Pengolahan Data

3.7.1. Uji Korelasi Antara Volume Lalu lintas Kendaraan Tiap Golongan (X)

Terhadap Konsentrasi TSP (Y)

Untuk dapat mengetahui seberapa besar pengaruh nilai X terhadap nilai Y, Nilai variabel X dan variabel Y yang telah didapat dari hasil pengukuran, kemudian harus dibuat persamaan garis regresi linier berganda terlebih dahulu. Persamaan tersebut dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$\hat{Y} = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + b \quad (3.1)$$

Untuk menghitung koefisien regresinya digunakan persamaan sebanyak enam buah, yaitu sebagai berikut:

$$\sum Y = b.n + C_1\sum X_1 + C_2\sum X_2 + C_3\sum X_3 + C_4\sum X_4 + C_5\sum X_5 \quad (3.2)$$

$$\sum X_1Y = b\sum X_1 + C_1\sum X_1^2 + C_2\sum X_1X_2 + C_3\sum X_1X_3 + C_4\sum X_1X_4 + C_5\sum X_1X_5 \quad (3.3)$$

$$\sum X_2Y = b\sum X_2 + C_1\sum X_2X_1 + C_2\sum X_2^2 + C_3\sum X_2X_3 + C_4\sum X_2X_4 + C_5\sum X_2X_5 \quad (3.4)$$

$$\sum X_3Y = b\sum X_3 + C_1\sum X_1X_3 + C_2\sum X_2X_3 + C_3\sum X_3^2 + C_4\sum X_3X_4 + C_5\sum X_3X_5 \quad (3.5)$$

$$\sum X_4Y = b\sum X_4 + C_1\sum X_1X_4 + C_2\sum X_2X_4 + C_3\sum X_3X_4 + C_4\sum X_4^2 + C_5\sum X_4X_5 \quad (3.6)$$

$$\sum X_5Y = b\sum X_5 + C_1\sum X_1X_5 + C_2\sum X_2X_5 + C_3\sum X_3X_5 + C_4\sum X_4X_5 + C_5\sum X_5^2 \quad (3.7)$$

Dengan menyelesaikan keenam persamaan tersebut akan diperoleh nilai C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 , dan nilai b , sehingga akan menghasilkan sebuah persamaan seperti pada persamaan (3.1).

Setelah didapat persamaan regresi linier berganda, kemudian dilakukan identifikasi kekuatan hubungan antara variabel X dan variabel Y yang dapat dilihat dari hasil perhitungan koefisien korelasi. Dalam regresi linier berganda koefisien korelasi merupakan kontribusi bersama dari seluruh variabel bebas terhadap variabel terikatnya. Koefisien korelasi regresi linier berganda dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$R^2 = 1 - \frac{(n-k-1)S_{y.12345}^2}{(n-1)S_y^2} \quad (3.8)$$

Dimana, n adalah jumlah data yang diolah dan k adalah jumlah variabel bebas yang digunakan. Untuk nilai $S_{y.12345}^2$ dan S_y^2 dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$S_{y.12345}^2 = \frac{\sum(Y-\hat{Y})^2}{n-k-1} \quad (3.9)$$

$$S_y^2 = \frac{\sum(Y-\bar{Y})^2}{n-1} \quad (3.10)$$

Hasil perhitungan koefisien korelasi pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. korelasi positif kuat

dikatakan sebagai korelasi positif kuat apabila hasil perhitungan korelasi mendekati +1 atau sama dengan +1. Hal ini menunjukkan setiap kenaikan nilai pada variabel X akan diikuti dengan kenaikan nilai variabel Y . sebaliknya, jika

variabel X mengalami penurunan, maka akan diikuti dengan penurunan variabel Y.

2. korelasi negatif kuat

dikatakan sebagai korelasi negatif kuat apabila hasil perhitungan korelasi mendekati -1 atau sama dengan -1. Hal ini menunjukkan setiap kenaikan nilai pada variabel X akan diikuti dengan penurunan nilai variabel Y. sebaliknya, apabila nilai dari variabel X turun, maka nilai dari variabel Y akan naik.

3. tidak ada korelasi

dikatakan tidak ada korelasi jika hasil perhitungan korelasi mendekati nol atau sama dengan nol. Hal ini menunjukkan naik turunnya nilai satu variabel tidak mempunyai kaitan dengan naik turunnya nilai variabel lainnya. Apabila nilai variabel X naik tidak selalu diikuti dengan naik atau turunnya nilai variabel Y, demikian juga sebaliknya.

3.7.2. Uji Korelasi Antara Volume Lalu lintas Kendaraan Total (X) Terhadap Konsentrasi TSP (Y)

Uji korelasi antara volume kendaraan total terhadap konsentrasi TSP yang terukur dilakukan dengan menggunakan metode regresi sederhana. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y = mX + b \quad (3.11)$$

Dimana, variabel X merupakan volume kendaraan total (SMP), dan variabel Y adalah besarnya konsentrasi TSP yang terukur di lapangan ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$).

Nilai koefisien m dan b dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$m = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (3.12)$$

$$b = \frac{n \sum x^2 \sum y - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (3.13)$$

Sedangkan koefisien R yang menyatakan kekuatan hubungan antara variabel X dan Y dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (3.14)$$

3.7.3. Perbandingan Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Terhadap Baku Mutu Udara Ambien

Tolak ukur terjadi suatu pencemaran udara didasarkan pada baku mutu udara ambien yang telah ditetapkan. Menurut PP No.41 Tahun 1999, Baku mutu udara ambien adalah ukuran batas atau kadar zat, energi, dan/atau komponen yang ada atau yang seharusnya ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien. Baku mutu udara ambien nasional ditetapkan sebagai batas maksimum mutu udara ambien untuk mencegah terjadinya pencemaran udara. Besarnya nilai baku mutu udara ambien untuk *Total Suspended Particulate* sesuai dengan PP No.41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara adalah sebesar $230 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dengan waktu pengukuran selama 24 jam atau $90 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk waktu pengukuran selama 1 tahun, dimana pengukuran konsentrasi pengukuran *Total Suspended Particulate* dilakukan dengan metode gravimetrik menggunakan alat *High Volume Air Sampler* (HVAS).

Koreksi laju alir pada kondisi standar dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q_s = Q_0 \times \left[\frac{T_s \times P_0}{T_0 \times P_s} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.15)$$

Dimana,

Q_s = Laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar (m^3/menit)

Q_0 = Laju alir volume uji (m^3/menit)

T_s = Temperatur standar, yaitu 298 K

T_0 = Temperatur absolute saat pengujian (K)

P_s = Tekanan barometrik standar, yaitu 101,3 kPa (760 mmHg)

P_0 = Tekanan barometrik saat pengujian (mmHg)

Sedangkan volume udara yang diambil saat pengujian dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$V = \frac{Q_{s1} + Q_{s2}}{2} \times t \quad (3.16)$$

Dimana,

Q_{s1} = Laju alir awal terkoreksi pada pengukuran pertama (m^3/menit)

Q_{s2} = Laju alir akhir terkoreksi pada pengukuran kedua (m^3/menit)

t = Durasi Pengambilan contoh uji (menit)

V = Volume udara yang diambil (m^3)

Konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) di udara dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$[C] = \frac{(M_t - M_0) \times 10^6}{V} \quad (3.17)$$

Dengan keterangan:

$[C]$ = Konsentrasi *Total Suspended Particulate* di udara ambien ($\mu g/Nm^3$)

M_t = Berat filter setelah pengambilan sampel udara (g)

M_0 = Berat filter bersih atau sebelum pengambilan sampel udara (g)

10^6 = Konversi gram ke μg

V = Volum contoh uji udara (m^3)

Kemudian konsentrasi yang diperoleh dari persamaan tersebut dikonversi ke persamaan model konversi Canter untuk mendapatkan konsentrasi yang setara dengan konsentrasi partikulat di udara dengan waktu pencuplikan atau pengukuran selama 24 jam. Berikut adalah persamaan model konversi Canter:

$$C_1 = C_2 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^p \quad (3.18)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

C_1 = Konsentrasi udara rata-rata dengan waktu pengambilan sampel selama 24 jam ($\mu g/m^3$)

C_2 = Konsentrasi udara rata-rata hasil pengukuran dengan lama pengambilan sampel selama t_2 jam. Dalam hal ini, $C_2 = [C]$. ($\mu g/m^3$)

t_1 = 24 jam

t_2 = Lama pengambilan sampel (jam)

p = Faktor konversi dengan nilai antara 0,17 dan 0,2

Setelah nilai konsentrasi TSP hasil pengukuran tersebut dikonversi menjadi konsentrasi TSP per 24 jam, baru dilakukan perbandingan dengan Baku Mutu Udara Ambien untuk TSP sesuai dengan PP No.41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, yaitu sebesar $230 \mu g/Nm^3$ untuk waktu pengukuran 24 jam.

3.7.4. Perhitungan Nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Dari Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran

Untuk mengkaji dampak konsentrasi TSP terhadap kesehatan manusia, juga dilakukan pengolahan data berupa pengkonversian konsentrasi TSP hasil pengukuran menjadi nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) sesuai dengan Keputusan Kepala Bapedal No.107 Tahun 1997 tentang Perhitungan dan Pelaporan Indeks Standar Pencemar Udara. Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu, yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika, dan makhluk hidup lainnya. Berikut adalah kategori ISPU untuk partikulat udara ambien berdasarkan *Standart National Ambient Air Quality* dan Bapedal selama 24 jam.

Tabel 3.3 Kategori ISPU Untuk Partikulat Udara Ambien Berdasarkan Standar National Ambient Air Quality dan Bapedal Selama 24 Jam

ISPU	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kategori
0-50	0-75	0-15	0-50	Baik
51-100	76-260	16-65	51-150	Sedang
101-200	261-375	66-150	151-350	Tidak Sehat
201-300	376-625	151-250	351-420	Sangat Tidak Sehat
>300	>625	>251	>421	Berbahaya

Sumber : Bapedal in Agusgindo, 2007.

Berikut adalah penjelasan kategori ISPU terhadap efek kesehatan manusia

Tabel 3.4 Kategori ISPU Untuk TSP Terhadap Efek Kesehatan Masyarakat

Kategori	Rentang	Efek terhadap kesehatan
Baik	0 – 50	Tidak ada efek
Sedang	51 – 100	Terjadi penurunan pada jarak pandang
Tidak sehat	101 – 199	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran debu dimana-mana
Sangat tidak sehat	200 – 299	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronchitis
berbahaya	300 atau lebih	Tingkat berbahaya bagi semua populasi yang terpapar.

Sumber: Keputusan Kepala Bapedal No.107 Tahun 1997 tentang perhitungan dan pelaporan ISPU

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) diperoleh dari pengoperasian stasiun pemantau kualitas udara ambien secara otomatis dan berkesinambungan. Indeks Standar Pencemar Udara dapat dipergunakan untuk:

1. Bahan informasi kepada masyarakat tentang kualitas udara ambien di lokasi tertentu dan pada waktu tertentu.
2. Bahan pertimbangan pemerintah pusat dan pemerintah daerah dalam melaksanakan pengendalian pencemaran udara.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal) No.107 Tahun 1997 tentang perhitungan dan pelaporan serta informasi indeks standar pencemar udara, perhitungan nilai indeks standar pencemar udara (ISPU) dilakukan dengan cara interpolasi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I = I_a - \left(\frac{X_a - X_x}{X_a - X_b} \times (I_a - I_b) \right) \quad (3.19)$$

Dengan keterangan:

I = ISPU terhitung

I_a = ISPU batas atas

I_b = ISPU batas bawah

X_a = konsentrasi ambien batas atas

X_b = konsentrasi ambien batas bawah

X_x = konsentrasi ambien hasil pengukuran

Setelah nilai konsentrasi TSP hasil pengukuran dikonversi ke dalam nilai ISPU, baru kemudian dapat diketahui perkiraan dampak atau efek yang diakibatkan oleh keberadaan TSP dengan besar konsentrasi tersebut terhadap kesehatan manusia sehingga dapat diketahui tingkat keamanannya.

3.7.5. Perhitungan Tingkat Resiko Pemajanan

Tingkat resiko pajanan TSP yang dihasilkan dari kendaraan bermotor yang melintas terhadap petugas pintu tol dapat diketahui melalui kajian dampak kesehatan lingkungan. Model kajian dampak lingkungan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Analisis Resiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), dimana hasil kajian tersebut akan menghasilkan suatu karakterisasi resiko

kesehatan pada populasi beresiko yang dinyatakan secara kuantitatif dengan menggabungkan analisis dosis-respon dengan analisis pemajanan.

Nilai kuantitatif yang dihasilkan dari kajian ARKL disebut sebagai nilai *Risk Quotient* (RQ) dan kemudian akan digunakan untuk menentukan apakah tingkat resiko yang terjadi perlu dikendalikan dengan menerapkan manajemen resiko atau tidak. Untuk dapat melakukan perhitungan RQ, dua buah parameter yang harus diketahui adalah asupan inhalasi (I) dan dosis Referensi (*RfC*). Nilai asupan inhalasi (I) dapat diperoleh dari analisis Pemajanan, sedangkan nilai *RfC* dapat diperoleh dari analisis dosis-respon.

Asupan inhalasi (I) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \quad (3.20)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

- I = asupan inhalasi (mg TSP/kg berat badan individu/hari)
- C = konsentrasi TSP di udara (mg/m³)
- R = laju inhalasi (m³/jam)
- T_E = lama pajanan (jam/hari)
- f_E = frekuensi pajanan (hari/tahun)
- D_t = durasi pajanan (tahun)
- W_b = berat badan individu (kg)
- T_{avg} = periode waktu rata-rata (30 tahun x 365 hari/tahun untuk non karsinogenik)

Nilai konsentrasi TSP di udara (C) didapatkan dari rata-rata hasil pengukuran konsentrasi TSP di lapangan, sedangkan nilai laju inhalasi (R) yang digunakan dalam perhitungan asupan inhalasi didapat dari literatur yang dikeluarkan oleh U.S. EPA. Parameter-parameter lainnya, yang terdiri dari lama pajanan, frekuensi pajanan, durasi pajanan, dan berat badan individu didapatkan dari hasil wawancara dengan petugas pintu tol di lapangan. Berikut adalah tabel laju inhalasi *default* yang dikeluarkan oleh U.S. EPA.

Tabel 3.5 Default Parameter Antropometri yang Dikeluarkan Oleh U.S EPA

Reseptor	Laju inhalasi (m ³ /jam)
Anak-anak	0,5
Dewasa (IRT)	0,83
Pekerja	0,83

Sumber : Exposure Factors Handbook, U.S EPA-600/8-89/043,1990.

Berdasarkan tabel di atas, nilai laju inhalasi yang akan digunakan dalam perhitungan asupan inhalasi adalah laju inhalasi untuk pekerja, yakni 0,83 m³/jam.

Nilai dosis referensi atau *RfC* diperoleh dari data yang dikeluarkan oleh U.S EPA. Berikut adalah nilai *RfC* untuk beberapa jenis zat pencemar yang dikeluarkan oleh U.S EPA melalui IRIS.

Tabel 3.6 Nilai *RfC* yang Dikeluarkan Oleh U.S EPA

No	Risk Agent	<i>RfC</i>
1	SO ₂	26E-2
2	NO ₂	2E-2
3	H ₂ S	2E-3
4	NH ₃	1E-1
5	TSP	2,42

Sumber: Integrated Risk Information System (IRIS), U.S. EPA,1998.

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa nilai *RfC* untuk TSP adalah sebesar 2,42. Nilai inilah yang kemudian akan digunakan dalam perhitungan tingkat resiko atau *Risk Quotient* (RQ) pemajanan TSP terhadap petugas pintu tol.

Setelah diketahui nilai asupan inhalasi (I) dan dosis referensi (*RfC*) maka dapat dilakukan perhitungan tingkat resiko pemajannya. Tingkat resiko atau *Risk Quotient* (RQ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Risk\ Quotient\ (RQ) = \frac{I}{RfC} \quad (3.21)$$

Dimana, I adalah asupan inhalasi (mg/kg/hari) dan *RfC* adalah dosis referensi (mg/kg/hari). Nilai RQ yang lebih besar dari satu mengindikasikan bahwa resiko yang ada berbahaya bagi kesehatan manusia dan butuh pengendalian, sedangkan nilai RQ yang kurang dari sama dengan satu

mengindikasikan bahwa resiko yang terjadi masih dalam batas aman dan belum membutuhkan pengendalian.

3.7.6. Penentuan Kadar Konsentrasi Timbal di Udara berdasarkan Partikulat yang Tertangkap Pada Filter Fiberglass HVAS

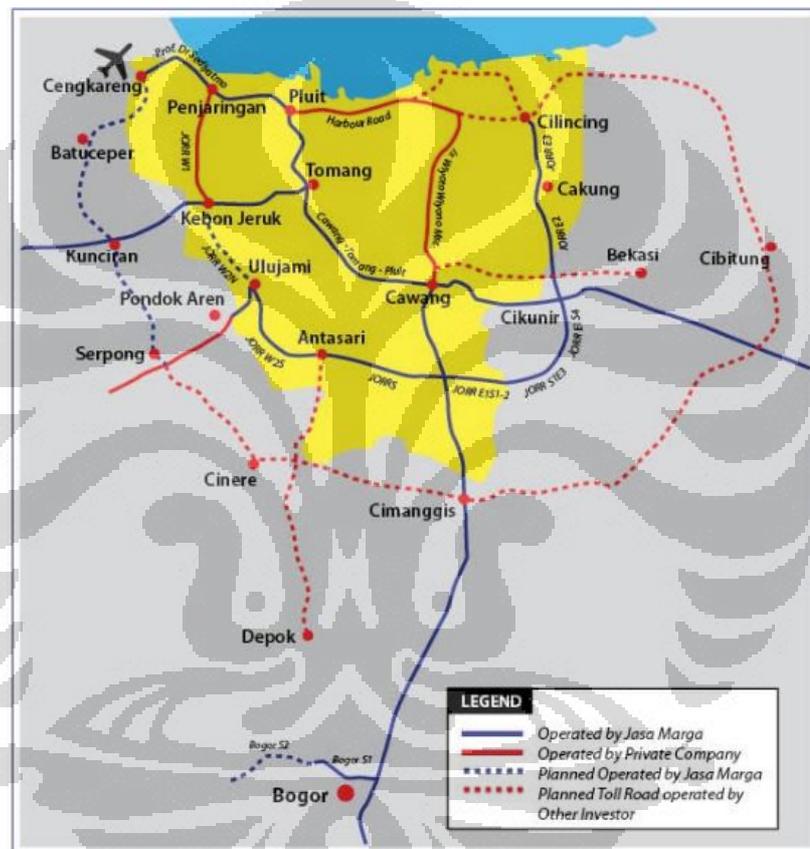
Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis zat logam pencemar udara yang dapat terukur sebagai TSP. Besarnya nilai konsentrasi Pb di udara dapat diperkirakan dari banyaknya jumlah partikulat yang menempel pada filter fiber glass HVAS setelah dilakukan pengambilan sampel udara untuk kadar debu total. Metode yang digunakan untuk menentukan kandungan timbal yang terdapat pada filter dalam penelitian ini adalah metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

Pada metode AAS, partikulat yang terdapat pada filter diekstraksi dalam campuran asam untuk menghilangkan jejak logam pada filter. Filter ditempatkan dalam 30 ml asam nitrit pekat (70%) dan 10 ml larutan hidrogen peroksida ke dalam *digestion vessel*. Kemudian *digestion vessel* tersebut ditempatkan pada gundukan pasir dan dipanaskan pada suhu 180°C sekitar 1 jam hingga terjadi penguapan pada larutan asam. Prosedur tersebut diulang sebanyak dua kali dan dilanjutkan dengan pemanasan hingga residu benar-benar kering. Setelah itu, dilakukan proses pendinginan dengan menambahkan air sebanyak 60 ml dan kemudian diaduk secara perlahan. Larutan tersebut disaring ke labu ukur 100 ml lalu diencerkan hingga tanda tera dengan air suling dan kemudian digunakan untuk analisis jejak logam dengan menggunakan spektrofotometer. Satu buah filter yang belum digunakan disiapkan sebagai blanko yang diperlakukan dengan cara yang sama.

BAB 4

GAMBARAN UMUM LOKASI STUDI

Daerah yang dijadikan sebagai wilayah studi adalah pintu tol Cililitan 2. Gerbang tol ini terletak pada ruas jalan tol Cawang-Tomang-Cengkareng. Berikut merupakan Peta lokasi Ruas Jalan Cawang-Tomang-Cengkareng. Ruas Jalan yang dimaksud adalah ruas jalan yang ditandai dengan garis warna biru gelap yang menghubungkan titik Cawang, Tomang, Pluit, Penjaringan, dan Cengkareng.



Gambar 4.1 Peta lokasi Ruas Jalan Cawang-Tomang-Cengkareng

Sumber : http://jasamarga.com/annual_report/ar2009/laporan_usaha.html

Ruas jalan tol ini memiliki panjang sebesar 39,5 km dan mulai beroperasi pada 20 April 1987 untuk ruas Cawang-Pluit dan 1 April 1985 untuk ruas Cengkareng. Ruas jalan tol ini dilalui oleh volume lalu lintas kendaraan yang cukup padat. Berikut merupakan data volume lalu lintas kendaraan dan volume transaksi pada beberapa ruas jalan tol.

Tabel 4.1 Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata per Cabang Tahun 2005-2009
(dalam satuan kendaraan/hari)

Cabang	2005	2006	2007	2008	2009
Jagorawi	326.953	319.771	318.029	310.456	329.587
Cawang-Tomang-Cengkareng	709.905	704.829	701.420	669.769	690.783
Jakarta-Cikampek	341.718	288.300	330.711	331.317	342.670
Jakarta-Tangerang	293.769	291.820	311.044	311.470	326.385
Purbaleunyi	138.307	133.677	143.987	146.513	178.695
Surabaya-Gempol	173.339	153.204	147.260	152.673	165.335
Semarang	70.741	66.436	70.417	73.465	78.301
Belmera	44.481	43.698	46.023	45.815	46.433
Palikanci	36.358	34.533	37.594	39.351	42.100
JORR	231.152	235.730	281.357	285.308	308.275
BORR	-	-	-	-	1.847
Total	2.366.722	2.271.998	2.661.160	2.366.137	2.510.411

Sumber: <http://www.jasamarga.com/volume-lalu-lintas.html>

Tabel 4.2 Volume Lalu Lintas Transaksi Beberapa Ruas Jalan Tol Berdasarkan
Data Laporan Tahun 2009

No.	Ruas Jalan Tol	Cabang	2008 (dalam juta)	2009 (dalam juta)
1	Jagorawi	Jagorawi	115,49	120,34
2	Jakarta-Cikampek	Jakarta-Cikampek	123,25	125,10
3	Jakarta-Tangerang	Jakarta-Tangerang	84,24	85,39
4	Ulujami-Pondok Aren		31,62	33,76
5	Jakarta Inner Ring Road	Cawang-Tomang-Cengkareng	174,95	180,75
6	Prof.Dr.Ir.Sedyatmo		74,21	71,38
7	Padaleunyi	Purbaleunyi	73,61	54,02
8	Cipularang		10,90	11,24
9	Surabaya-Gempol	Surabaya-Gempol	56,79	60,37
10	Semarang	Semarang	27,33	28,59
11	Belmera	Belmera	17,04	16,95
12	Palikanci	Palikanci	14,64	15,37
13	JORR	PT Jalan Tol Lingkar Luar Jakarta	105,99	112,54
14	BORR	PT Marga Sarana Jabar	-	0,68
		Total	880,06	916,48

Sumber: http://jasamarga.com/annual_report/ar2009/laporan_usaha.html.

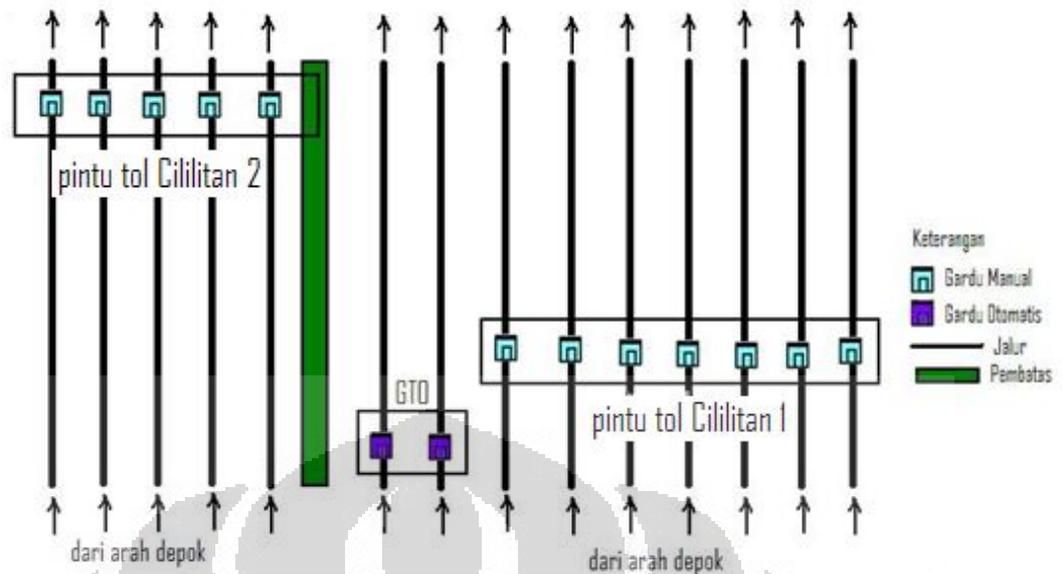
Dapat dilihat pada kedua tabel di atas, ruang jalan tol Cawang-Tomang-Cengkareng merupakan ruas jalan tol yang memiliki volume lalu lintas tertinggi dibandingkan dengan ruas-ruas jalan tol lainnya. Ini merupakan salah satu alasan pertimbangan mengapa wilayah ini dijadikan sebagai lokasi studi dalam penelitian ini. Pintu tol Cililitan 2, lokasi tempat dilakukannya pengukuran konsentrasi TSP, adalah pintu tol yang terdapat pada ruas jalan Jakarta Inner Ring Road yang merupakan bagian dari ruas jalan tol Cawang-Tomang-cengkareng.



Gambar 4.2 Gerbang Tol Cililitan 2 yang Dijadikan Sebagai Lokasi Studi

4.1. Deskripsi Tata Letak Gardu Pada Gerbang Tol

Gerbang Tol Cililitan memiliki dua buah gerbang tol, yaitu gerbang tol Cililitan 1 dan gerbang tol Cililitan 2. Gerbang Cililitan 2 merupakan gerbang bantuan untuk gerbang tol Cililitan 1 yang terletak lebih ke belakang dibandingkan dengan gerbang tol Cililitan 1. Gerbang tol Cililitan 1 diutamakan untuk melayani kendaraan jenis golongan 1, sedangkan gerbang tol Cililitan 2 lebih ditujukan untuk melayani kendaraan-kendaraan truk yang termasuk ke dalam jenis golongan kendaraan II, II, IV, dan V. Pada gerbang tol Cililitan 1 terdapat tujuh buah gardu yang melayani pembayaran secara manual dan dua buah lajur untuk melayani transaksi otomatis. Lajur yang digunakan untuk melayani transaksi otomatis disebut sebagai Gerbang Tol Otomatis (GTO). Berikut merupakan tata letak gerbang tol Cililitan 1 dan gerbang tol Cililitan 2.



Gambar 4.3 Tata Letak Gerbang Tol Cililitan 1 dan Gerbang Tol Cililitan 2

Lokasi pengukuran TSP dilakukan pada gerbang tol Cililitan 2 dengan pertimbangan bahwa gerbang tol Cililitan 2 memiliki akses yang lebih mudah untuk dijangkau dibandingkan dengan gerbang tol Cililitan 1 karena gerbang tol Cililitan 2 terletak lebih ke tepi ruas jalan. Pada gerbang tol Cililitan 2 terdapat lima buah gardu, yakni gardu 12, gardu 13, gardu 14, gardu 15, dan gardu 16. Semua gardu yang ada merupakan gardu transaksi manual yang dilayani oleh petugas gardu. Berikut merupakan *lay out* gardu pada gerbang tol Cililitan 2.



Gambar 4.4 Lay out Gardu pada Gerbang Tol Cililitan 2

Pada gerbang ini, transaksi pembayaran tarif tol dapat dilakukan oleh beberapa cara, diantaranya:

1. Pembayaran tunai (*cash*)

Pembayaan dilakukan dengan menggunakan uang tunai sesuai dengan tipe golongan kendaraan yang melintas

2. E-Toll Card

Pembayaran tarif jalan tol dilakukan dengan menggunakan E-Toll card, dimana pemakai jalan dapat membeli kartu tersebut pada tempat yang telah ditentukan. Kartu ini memiliki suatu nilai saldo tertentu dimana saldo tersebut akan berkurang setelah digunakan dalam transaksi. Pembayaran dengan menggunakan kartu ini dapat mempercepat waktu transaksi yang sebelumnya 7 sampai 11 detik menjadi kurang dari 4 detik.

4.2. Deskripsi Petugas Pintu Tol

Setiap petugas pintu tol memiliki Alat Pelindung Diri (APD) berupa masker berwarna hitam dan rompi berwarna jingga. Petugas pintu tol yang bekerja pada gerbang tol Cililitan 2 terdiri dari :

1. Petugas kebersihan, yang bertugas membersihkan lembaran karcis yang terkadang dibuang begitu saja oleh pemakai jalan. Selain itu, petugas kebersihan juga bertugas untuk membersihkan gardu dan menyediakan pecahan uang yang dibutuhkan petugas gardu untuk melakukan transaksi. Petugas kebersihan memiliki suatu pos yang terletak di sisi kiri gerbang tol. Pos tersebut berupa ruangan kecil yang hampir serupa dengan gardu. Di dalam pos tersebut terdapat kursi, meja, dan sebuah dispenser.



Gambar 4.5 Pos Petugas Kebersihan Gerbang Tol Cililitan 2

2. Petugas gardu, yang bertugas untuk melayani transaksi pembayaran tarif tol pemakai jalan. Di dalam gardu, dimana petugas gardu bertugas, terdapat fasilitas berupa pendingin ruangan (AC), kursi, stop kontak, lampu, speaker untuk menginformasikan kebutuhan pecahan uang kepada petugas kebersihan, sebuah radio untuk hiburan, dan sebuah komputer untuk transaksi pembayaran yang terhubung dengan sistem data pada ruangan kepala *shift*. Gardu tersebut berukuran sekitar 1,5 x 0,8 m dengan ukuran bukaan jendela kurang lebih 30 x 40 cm.



Gambar 4.6 Petugas Gardu yang Sedang Bertugas di Dalam Gardu

Setiap petugas gardu bertanggung jawab terhadap hasil pendapatan per gardu. Apabila nilai uang yang ada tidak sesuai dengan data transaksi yang ada, maka petugas gardu harus memberikan penjelasan dan pertanggungjawaban. Pemeriksaan kesesuaian antara total pendapatan dan jumlah transaksi dilakukan dengan menggunakan data-data yang terdapat pada record transaksi pembayaran serta kamera CCTV yang diletakkan pada tiap lajur gardu. Fasilitas Toilet untuk petugas pintu tol tersedia pada sisi kiri lokasi gerbang tol.

Waktu operasi gardu pada gerbang tol Cililitan 2 dibagi ke dalam tiga buah *shift* kerja, sebagai berikut;

1. *Shift* 1 : Pukul 05.00- 13.00
2. *Shift* 2 : Pukul 13.00- 21.00
3. *Shift* 3 : Pukul 21.00 – 05.00

Tiap *shift* tersebut memiliki seorang kepala *Shift* sebagai orang yang bertanggung jawab pada semua aspek operasional gardu. Kepala *shift* yang bertugas pada satu hari berbeda dengan hari lainnya. *Shift* yang diamati pada

penelitian ini adalah *shift* 1, dimana pengamatan dan pengukuran TSP dimulai dari pukul 06.00 hingga pukul 13.00. Para petugas gardu *shift* 1 memiliki waktu kerja 8 jam dengan kesempatan istirahat beberapa saat setelah waktu kerja 4 jam pertama. Petugas gardu yang tengah istirahat kemudian digantikan oleh petugas gardu pengganti yang bertugas melayani transaksi hingga petugas gardu yang istirahat tersebut kembali. Dalam rentang satu minggu, petugas gardu memiliki lima hari kerja dan dua hari libur, dimana dua hari libur yang ada tersebut tidak harus selalu pada jatuh pada hari sabtu dan minggu, melainkan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan.

Para petugas gardu memiliki asuransi kesehatan dan melakukan *check up* kesehatan setiap satu tahun sekali yang diselenggarakan oleh pihak Jasamarga. Selain itu juga diberikan anggaran susu untuk menetralkan zat racun atau polutan yang mungkin terhirup oleh petugas gardu selama waktu kerjanya.

4.3. Deskripsi Fasilitas Pada Pintu Tol

Pada tiap lajur gardu terdapat sensor yang terhubung dengan sistem transaksi komputer masing-masing gardu. Sensor tersebut terdiri dari tiang berbentuk balok setinggi kurang lebih 120 cm berwarna jingga yang dipasang pada kedua sisi lajur dan sensor deteksi logam yang ditanam di bawah lajur ruas jalan.



Gambar 4.7 Sensor Tiang yang Terdapat Pada Tiap Lajur Gardu

Pada sisi kiri ruas jalan gerbang tol Cililitan 2 terdapat beberapa pohon dan tanaman. Selain itu juga terlihat usaha pengurangan pencemaran udara melalui penempatan beberapa jenis tanaman dalam pot di sisi luar gardu. Berikut

merupakan gambar beberapa tanaman yang terdapat pada taman di sisi ruas jalan gerbang tol dan pada sisi luar gardu.



Gambar 4.8 Pohon dan Tanaman yang Terdapat di Sisi Jalan Gerbang Tol



Gambar 4.9 Tanaman dalam Pot yang Diletakkan di Luar Gardu

BAB 5

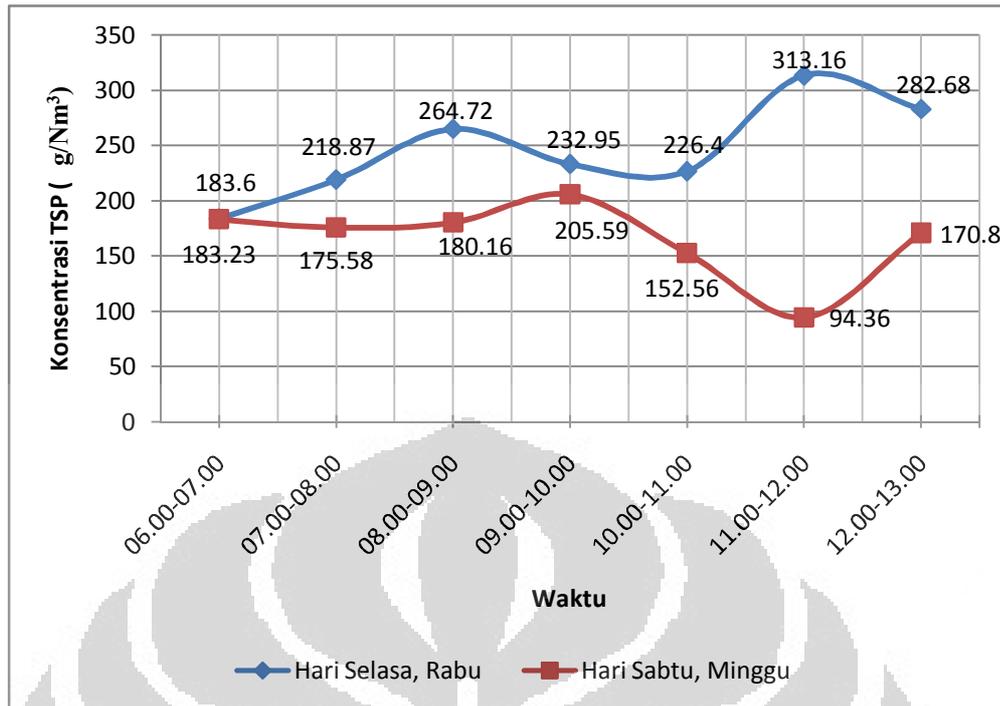
PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

Data penelitian yang didapat dari lapangan dapat dilihat pada lampiran 3. Data lapangan yang terdiri dari data suhu, kelembaban, laju alir udara awal, laju alir udara akhir, berat filter awal, dan berat filter akhir tersebut kemudian dilakukan proses pengolahan data untuk mendapatkan nilai konsentrasi TSP hasil pengukuran. Proses pengolahan data penelitian menjadi konsentrasi TSP di udara ambien dapat dilihat pada lampiran 5.

Proses pengambilan data yang dilakukan pada gardu 12, gardu 13, dan gardu 14 berlangsung selama enam hari, dimana masing-masing pengukuran gardu dilakukan untuk hari kerja dan hari libur. Definisi untuk hari kerja dan hari libur disesuaikan dengan kondisi penanggalan kalender tanpa adanya kejadian istimewa, seperti hari libur nasional, dan lain sebagainya. Dalam pendefinisian hari kerja dan hari libur ini, hari Senin hingga hari Jumat dianggap sebagai hari efektif orang bekerja, sedangkan hari Sabtu dan Minggu dianggap sebagai hari dimana mayoritas orang tidak bekerja.

Dalam proses pengambilan data juga dilakukan pengamatan terhadap keadaan lalu lintas dan kondisi cuaca yang terjadi. Data deskripsi keadaan lalu lintas dan kondisi cuaca hasil pengamatan ketika dilakukan proses pengambilan data dapat dilihat pada lampiran 3.

Untuk mengetahui gambaran secara umum mengenai seberapa besar konsentrasi TSP pada udara ambien yang terjadi di sekitar pintu tol dapat dilakukan dengan melihat data rata-rata konsentrasi TSP yang dihasilkan. Berikut merupakan grafik fluktuasi rata-rata konsentrasi TSP pada udara ambien tiap jam, mulai dari pukul 06.00 hingga pukul 13.00, di gerbang tol Cililitan 2 pada hari kerja (Selasa, Rabu) dan hari libur (Sabtu, Minggu).



Gambar 5.1 Grafik Rata-rata Konsentrasi TSP di Pintu Tol Pada Hari Kerja (Selasa dan Rabu) dan Hari Libur (Sabtu dan Minggu)

Dapat dilihat pada grafik di atas, terdapat perbedaan posisi dan besar nilai titik puncak grafik antara grafik fluktuasi rata-rata konsentrasi TSP pada hari kerja dan hari libur. Seluruh nilai konsentrasi TSP yang terukur pada hari kerja selalu menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai konsentrasi yang terukur pada hari libur. Grafik rata-rata konsentrasi TSP pada hari kerja mencapai nilai puncak pertama lebih awal dibandingkan dengan nilai puncak pertama pada grafik rata-rata konsentrasi TSP pada hari libur. Titip puncak pertama pada grafik rata-rata konsentrasi TSP pada hari kerja terjadi pada pukul 08.00-09.00, sedangkan titik puncak pertama pada grafik rata-rata konsentrasi TSP pada hari libur baru terjadi pada pukul 09.00-10.00. Hal ini sesuai dengan karakteristik hari kerja dan hari libur, dimana pada hari libur orang cenderung memulai aktivitas pada waktu yang lebih siang dibandingkan dengan hari kerja. Selain itu, juga terdapat perbedaan waktu terjadinya konsentrasi puncak tertinggi pada hari kerja dan hari libur, dimana pada hari kerja, titik puncak tertinggi konsentrasi TSP terjadi pada pukul 11.00-12.00, yaitu sebesar 313,16 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sedangkan pada hari libur, besarnya nilai rata-rata konsentrasi TSP mencapai nilai puncak pada pukul 09.00-10.00, yaitu sebesar 205,59 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Hal yang selanjutnya akan dilakukan adalah menghubungkan data rata-rata konsentrasi TSP yang terukur dengan kondisi lalu lintas dan kejadian antrean yang terjadi pada gardu. Dari gambar 5.1, dapat dilihat rata-rata konsentrasi TSP pada hari kerja mengalami peningkatan dari data pukul 06.00-07.00 hingga data hasil pengukuran pada pukul 08.00-09.00 dan kemudian mengalami penurunan pada data pukul 09.00-10.00. Hubungan antara kejadian antrean dengan konsentrasi TSP dapat dilihat dengan membandingkan kondisi lalu lintas ketika terjadi puncak pada grafik tingkat konsentrasi TSP dengan kondisi lalu lintas ketika mulai terjadi penurunan konsentrasi. Kondisi lalu lintas yang terjadi pada tiap waktu pengukuran dapat dilihat pada lampiran 3. Dalam hal ini, kejadian puncak konsentrasi terjadi pada pukul 08.00-09.00, yaitu sebesar $264,72 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, dan mengalami penurunan menjadi $232,95 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ pada pukul 09.00-10.00, sehingga kondisi lalu lintas yang akan dilakukan perbandingan adalah kondisi lalu lintas pada pukul 08.00-09.00 dengan kondisi lalu lintas pada pukul 09.00-10.00. Berikut merupakan tabel perbandingan kondisi lalu lintas yang terjadi pukul 08.00-09.00 dan pukul 09.00-10.00 pada tiap pengukuran di hari kerja.

Tabel 5.1 Perbandingan Kondisi Lalu Lintas Pada Pukul 08.00-09.00 dengan Pukul 09.00-10.00 pada hari kerja.

No.	Hari Pengukuran	Kondisi Lalu lintas	
		Pukul 08.00-09.00	Pukul 09.00-10.00
1	Rabu, 12 Januari 2011	Terjadi antrean	Lalu lintas lancar
2	Selasa, 18 Januari 2011	Terjadi antrean	Lalu lintas mulai lancar
3	Rabu, 23 Februari 2011	Terjadi antrean	Lalu lintas lancar

Pada tabel di atas, dapat dilihat bahwa pada tiap hari pengukuran selalu terjadi perubahan kondisi lalu lintas pada pukul 08.00-09.00 hingga pukul 09.00-10.00, dimana perubahan yang terjadi adalah dari kondisi terjadi antrean menjadi kondisi lalu lintas lancar. Perubahan kondisi dari terjadi antrean menjadi kondisi lalu lintas lancar tersebut seiring dengan terjadinya penurunan konsentrasi TSP pada pukul 08.00-09.00 hingga pukul 09.00-10.00, sehingga dapat dikatakan bahwa terjadinya antrean mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur.

Analisis yang sama juga dilakukan pada kasus terjadinya peningkatan konsentrasi TSP. Pada gambar 5.1, diketahui rata-rata konsentrasi TSP pada hari kerja mengalami peningkatan dari data pukul 10.00-11.00 hingga ke data pukul 11.00-12.00, dimana data konsentrasi pada pukul 11.00-12.00 merupakan data puncak dengan nilai konsentrasi tertinggi. Berikut merupakan tabel perbandingan kondisi lalu lintas yang terjadi pada pukul 10.00-11.00 sampai pukul 11.00-12.00.

Tabel 5.2 Perbandingan Kondisi Lalu Lintas Pada Pukul 10.00-11.00 dengan Pukul 11.00-12.00 pada hari kerja.

No.	Hari Pengukuran	Kondisi Lalu lintas	
		Pukul 10.00-11.00	Pukul 11.00-12.00
1	Rabu, 12 Januari 2011	Lalu lintas lancar	Terjadi antrean
2	Selasa, 18 Januari 2011	Lalu lintas lancar	Terjadi antrean
3	Rabu, 23 Februari 2011	Mulai terjadi antrean	Terjadi antrean

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan lalu lintas pada pukul 10.00-11.00 hingga pukul 11.00-12.00, dimana kondisi yang semula lancar atau mulai terjadi antrean pada pukul 10.00-11.00 berubah menjadi terjadi antrean pada pukul 11.00-12.00. Peningkatan lalu lintas tersebut seiring dengan terjadinya peningkatan rata-rata konsentrasi TSP yang terjadi pada pukul 11.00-12.00. Hasil analisis perbandingan tersebut juga mengatakan bahwa terjadinya antrean mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur, dimana perubahan kondisi dari lalu lintas lancar menjadi terjadi antrean menyebabkan peningkatan konsentrasi TSP.

Untuk memperkuat pernyataan bahwa terjadinya antrean mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur, juga dilakukan analisis data konsentrasi TSP yang terjadi pada hari libur. Sampel data yang akan dilakukan untuk analisis pengaruh antrean terhadap konsentrasi TSP yang terukur adalah data pengukuran pada pukul 09.00-10.00 dan data pukul 10.00-11.00 di hari libur, dimana konsentrasi TSP turun dari 205,59 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ menjadi 152,56 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Berikut merupakan perbandingan kondisi lalu lintas pada pukul 09.00-10.00 dan pukul 10.00-11.00 di hari libur.

Tabel 5.3 Perbandingan Kondisi Lalu Lintas Pada Pukul 09.00-10.00 dengan Pukul 10.00-11.00 pada hari libur.

No.	Hari Pengukuran	Kondisi Lalu lintas	
		Pukul 09.00-10.00	Pukul 10.00-11.00
1	Sabtu, 15 Januari 2011	Lalu lintas lancar	Lalu lintas lancar, gerimis
2	Sabtu, 26 Februari 2011	Lalu lintas lancar	Lalu lintas lancar, gerimis
3	Minggu, 27 Februari 2011	Mulai terjadi antrean	Lalu lintas lancar

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa terjadi faktor gangguan berupa terjadinya hujan rintik atau gerimis pada hari Sabtu, 15 Januari 2011 dan 26 Februari 2011. Kejadian hujan rintik tersebut dapat mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur akibat adanya kemungkinan terserapnya partikulat yang dihasilkan kendaraan bermotor oleh butir-butir air sebagai akibat peningkatan kelembaban. Oleh karena itu, dilakukan analisis terhadap data lain, yaitu data kenaikan konsentrasi TSP yang terjadi pada data pukul 11.00-12.00 dan data pukul 12.00-13.00, dimana konsentrasi naik dari 94,36 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ menjadi 170,8 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Berikut merupakan kondisi lalu lintas pada pukul 11.00-12.00 dan pukul 12.00-13.00 pada hari libur.

Tabel 5.4 Perbandingan Kondisi Lalu Lintas Pada Pukul 11.00-12.00 dengan Pukul 12.00-13.00 pada hari libur.

No.	Hari Pengukuran	Kondisi Lalu lintas	
		Pukul 11.00-12.00	Pukul 12.00-13.00
1	Sabtu, 15 Januari 2011	Lalu lintas lancar	Terjadi antrean
2	Sabtu, 26 Februari 2011	Lalu lintas lancar	Terjadi antrean
3	Minggu, 27 Februari 2011	Lalu lintas lancar	Mulai terjadi antrean

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa kondisi lalu lintas berubah dari lalu lintas lancar pada pukul 11.00-12.00 menjadi terjadi antrean atau mulai terjadi antrean pada pukul 12.00-13.00. perubahan tersebut seiring dengan terjadinya kenaikan konsentrasi TSP dari data pukul 11.00-12.00 ke data pukul 12.00-13.00. Hal ini memperkuat pernyataan bahwa terjadinya antrean mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur, dimana perubahan kondisi dari lalu lintas

lancar menjadi terjadi antrean menyebabkan peningkatan konsentrasi TSP, seperti hasil analisis yang dilakukan pada hari kerja.

Semua hasil analisis yang dilakukan dapat dilihat pada resume tabel berikut.

Tabel 5.5 Resume Hasil Analisis Pengaruh Kejadian Antrean Terhadap Konsentrasi TSP yang Terukur.

Hari Pengukuran	Kondisi Lalu lintas		Perubahan Kons.TSP
	Data Awal	Data Akhir	
Rabu, 12 Jan 2011	Terjadi antrean	Lalu lintas lancar	Penurunan
Selasa, 18 Jan 2011	Terjadi antrean	Lalu lintas mulai lancar	Penurunan
Rabu, 23 Feb 2011	Terjadi antrean	Lalu lintas lancar	Penurunan
Rabu, 12 Jan 2011	Lalu lintas lancar	Terjadi antrean	Peningkatan
Selasa, 18 Jan 2011	Lalu lintas lancar	Terjadi antrean	Peningkatan
Rabu, 23 Feb 2011	Mulai terjadi antrean	Terjadi antrean	Peningkatan
Sabtu, 15 Jan 2011	Lalu lintas lancar	Terjadi antrean	Peningkatan
Sabtu, 26 Feb 2011	Lalu lintas lancar	Terjadi antrean	Peningkatan
Minggu, 27 Feb 2011	Lalu lintas lancar	Mulai terjadi antrean	Peningkatan

Tabel di atas menunjukkan suatu hasil analisis yang konsisten, dimana perubahan kondisi lalu lintas dari terjadi antrean menjadi lalu lintas lancar diiringi dengan terjadinya penurunan konsentrasi TSP, dan perubahan kondisi lalu lintas dari lalu lintas lancar menjadi terjadi antrean diiringi dengan peningkatan konsentrasi TSP. Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa kejadian antrean pada pintu tol meningkatkan besarnya nilai konsentrasi TSP udara ambien yang terukur.

5.1. Perhitungan Kontribusi Konsentrasi TSP Udara Ambien yang Dihasilkan Untuk Tiap Satuan Mobil Penumpang

Salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya nilai emisi TSP yang dihasilkan oleh suatu kendaraan bermotor adalah jenis bahan bakar yang digunakan, sehingga penentuan seberapa besar kontribusi TSP udara ambien yang dihasilkan untuk tiap Satuan Mobil Penumpang juga harus mempertimbangkan faktor tersebut. Secara umum, terdapat dua jenis bahan bakar yang digunakan oleh kendaraan bermotor, yaitu bahan bakar bensin untuk mesin kendaraan

konvensional, dan bahan bakar solar untuk mesin diesel. Kontribusi konsentrasi TSP udara ambien yang dihasilkan untuk tiap Satuan Mobil Penumpang dapat diketahui dengan menggunakan metode persamaan regresi linier berganda dengan satu buah variabel terikat berupa konsentrasi TSP terukur dan dua buah variabel bebas yang terdiri dari volume kendaraan berbahan bakar bensin dan volume kendaraan berbahan bakar solar. Dalam hal kasus lalu lintas pada pintu tol ini, jenis kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin adalah kendaraan golongan I, sedangkan jenis kendaraan yang menggunakan bahan bakar solar adalah kendaraan golongan II, III, IV, dan V.

Persamaan regresi linier berganda dengan dua buah variabel yang digunakan untuk menentukan kontribusi konsentrasi TSP untuk tiap Satuan Mobil Penumpang adalah sebagai berikut.

$$Y = b_1 X_1 + b_2 X_2 + a \quad (5.1)$$

Dimana, Y = Konsentrasi TSP udara ambien yang terukur ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

X_1 = Volume kendaraan berbahan bakar bensin (SMP)

X_2 = Volume kendaraan berbahan bakar solar (SMP)

Nilai koefisien b_1 pada persamaan regresi merupakan besarnya konsentrasi TSP pada udara ambien yang dihasilkan untuk tiap satu satuan volume kendaraan berbahan bakar bensin yang dinyatakan dalam satuan $\mu\text{g}/\text{Nm}^3 / \text{SMP}$, sedangkan koefisien b_2 menyatakan besarnya nilai konsentrasi TSP yang dihasilkan untuk tiap satu satuan volume kendaraan berbahan bakar solar yang juga dinyatakan dalam satuan $\mu\text{g}/\text{Nm}^3 / \text{SMP}$.

Perhitungan koefisien regresi persamaan (5.1) dapat dilihat pada lampiran 8 poin A. Dari perhitungan tersebut didapat hasil persamaan regresi berganda sebagai berikut.

$$Y = 0,131 X_1 + 0,369 X_2 + 98,659 \quad (5.2)$$

Dari persamaan di atas, diketahui:

1. Faktor kontribusi konsentrasi TSP pada udara ambien untuk kendaraan berbahan bakar bensin adalah sebesar $0,131 \mu\text{g}/\text{Nm}^3 / \text{SMP}$, yang berarti tiap satu Satuan Mobil Penumpang untuk kendaraan berbahan bakar bensin akan menyumbang konsentrasi TSP di udara ambien sebesar $0,131 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

2. Faktor kontribusi konsentrasi TSP pada udara ambien untuk kendaraan berbahan bakar solar adalah sebesar $0,369 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ / SMP, dimana tiap satu Satuan Mobil Penumpang untuk kendaraan berbahan bakar solar akan menyumbang konsentrasi TSP di udara ambien sebesar $0,369 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

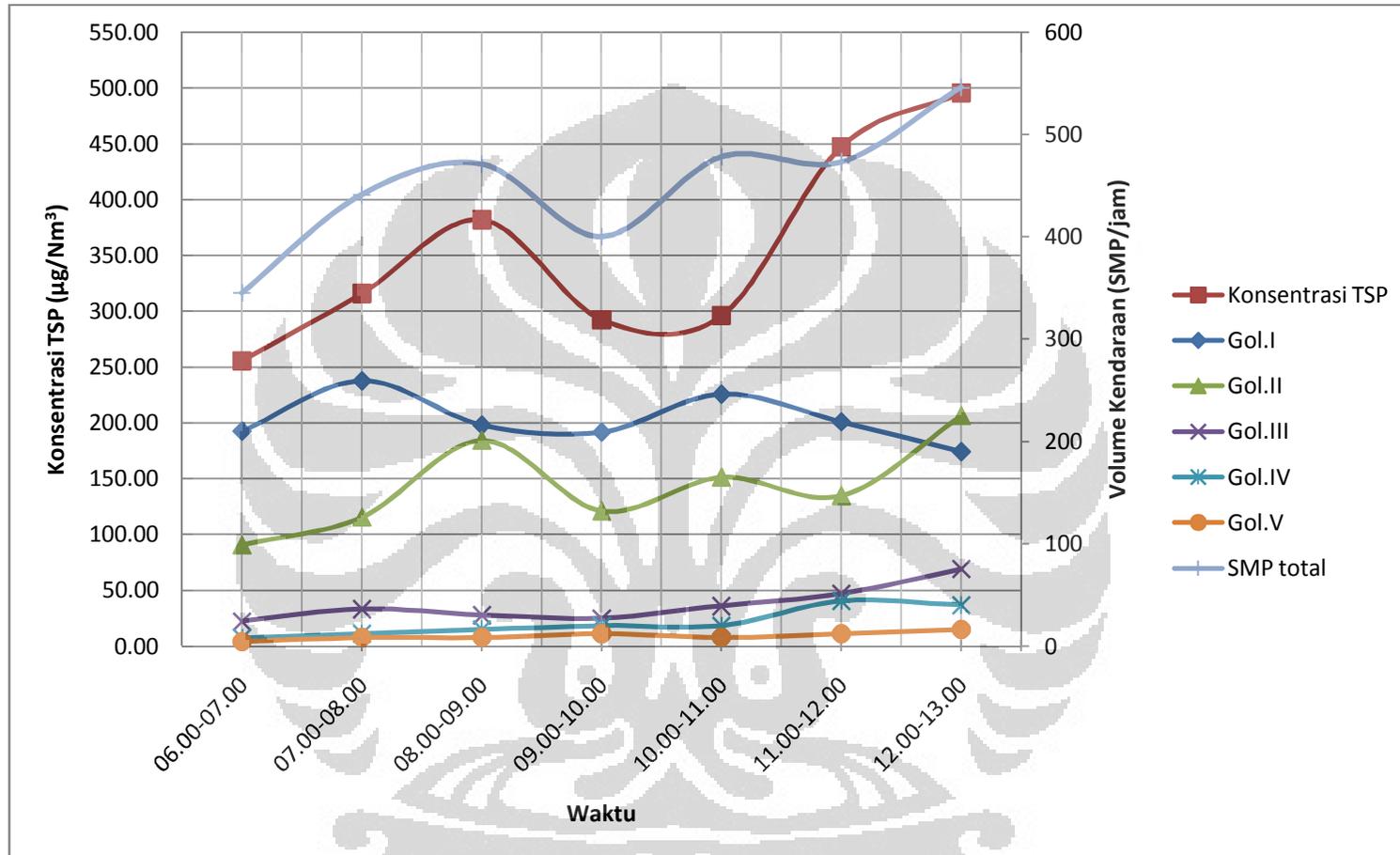
Dari kedua nilai faktor kontribusi tersebut, dapat dilihat bahwa kendaraan berbahan bakar solar menyumbang lebih banyak emisi TSP dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar bensin.

5.2. Analisis Perbandingan Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan Tiap Golongan dengan Grafik Fluktuasi Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran

Untuk dapat mengetahui jenis kendaraan mana yang paling mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP yang dihasilkan, dilakukan pengamatan dan perbandingan antara masing-masing trend grafik fluktuasi volume kendaraan untuk tiap jenis golongan kendaraan dengan trend grafik fluktuasi konsentrasi TSP yang dihasilkan. Konsep yang digunakan untuk menentukan jenis kendaraan mana yang paling berpengaruh adalah hasil perbandingan bentuk grafik antara grafik volume kendaraan dan grafik konsentrasi TSP yang dianalisis secara deskriptif. Golongan kendaraan yang paling berpengaruh adalah golongan kendaraan yang memiliki bentuk grafik fluktuasi volume kendaraan yang paling mirip atau mendekati bentuk grafik fluktuasi konsentrasi TSP nya, dilihat dari bentuk kenaikan dan penurunan nilai ordinatnya. Berikut merupakan perbandingan antara grafik volume kendaraan tiap golongan kendaraan dengan grafik konsentrasi TSP hasil pengukuran yang disajikan pada masing-masing hari pengukuran.

Rabu, 12 Januari 2011

Pengukuran TSP dan penghitungan volume kendaraan pada hari Rabu, 12 Januari 2011 dilakukan pada Gardu 12. Berikut merupakan perbandingan bentuk grafik volume kendaraan tiap golongan dengan grafik konsentrasi TSP.



Gambar 5.2 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I, II, III, IV, dan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Rabu, 12 Januari 2011

Grafik lebih detail yang menggambarkan hubungan volume kendaraan tiap-tiap jenis kendaraan dengan konsentrasi TSP dapat dilihat pada lampiran 6 poin A. Dari gambar grafik 5.2, akan dilakukan perbandingan untuk masing-masing bentuk grafik volume tiap golongan kendaraan dengan grafik konsentrasi TSP. Perbandingan bentuk grafik akan dilakukan berdasarkan analisis deskriptif dan hasil dari analisis tersebut akan dinyatakan dalam bentuk hubungan korelasi dengan simbol sebagai berikut:

1. Simbol +

menandakan kenaikan konsentrasi TSP diikuti dengan kenaikan volume kendaraan atau penurunan konsentrasi TSP diikuti oleh penurunan volume kendaraan.

2. Simbol -

menandakan kenaikan konsentrasi TSP diikuti oleh penurunan volume kendaraan atau penurunan konsentrasi TSP diikuti oleh kenaikan volume kendaraan.

Berikut merupakan tabel hasil analisis perbandingan grafik volume kendaraan untuk golongan I hingga golongan V, serta volume total kendaraan dengan grafik konsentrasi TSP hasil pengukuran pada hari Rabu, 12 Januari 2011.

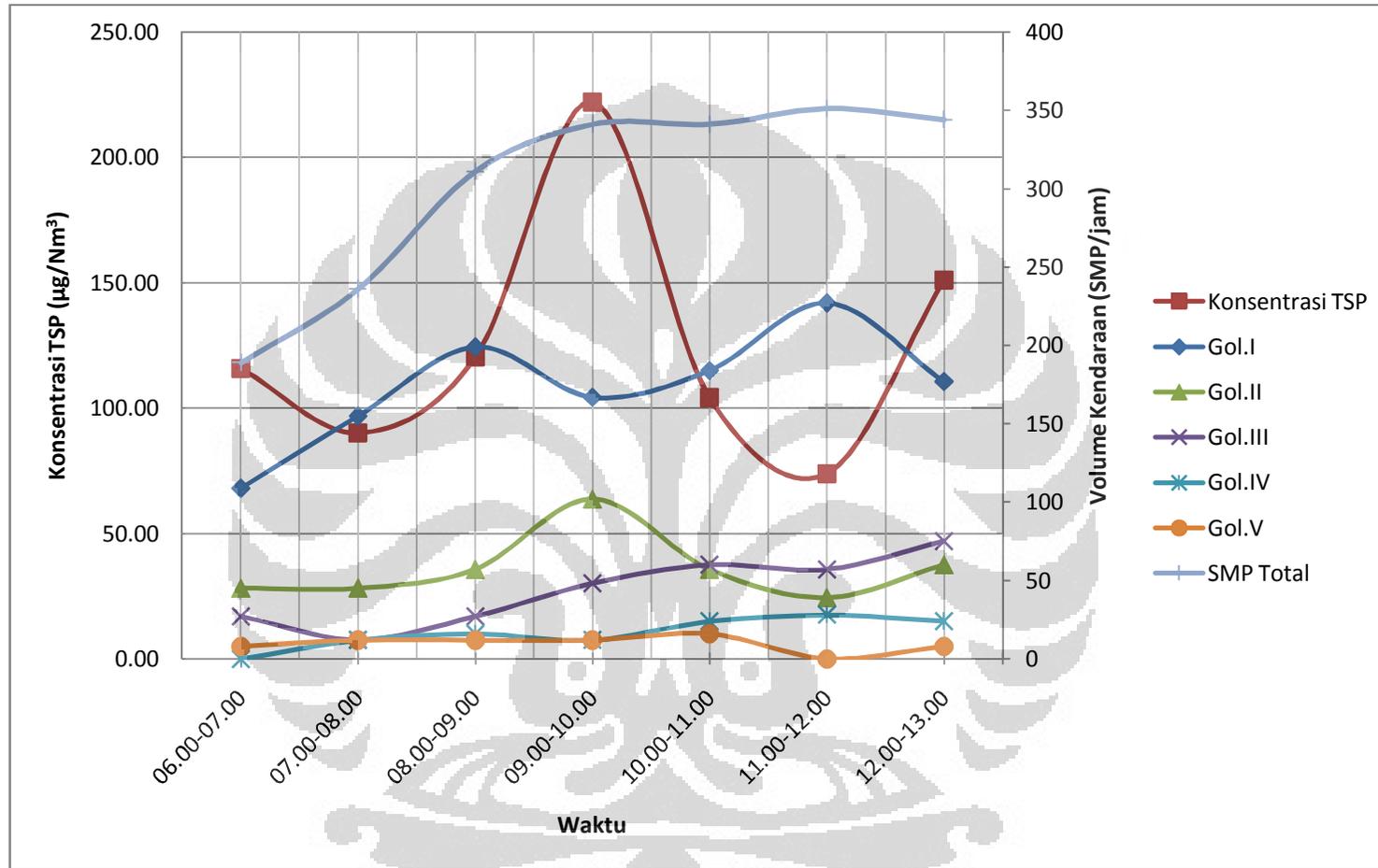
Tabel 5.6 Hasil Analisis Perbandingan Grafik Volume Kendaraan dengan Grafik Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Pada Rabu, 12 Januari 2011

Titik 1	Titik 2	Perbandingan Grafik Konsentrasi TSP dengan					
		Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V	SMP total
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 +		3	5	5	4	3	5

Dari tabel hasil analisis di atas, dapat dilihat perbandingan grafik konsentrasi TSP dengan grafik volume kendaraan yang paling banyak memiliki hubungan korelasi yang positif adalah kendaraan golongan II, kendaraan golongan III, dan volume kendaraan total, sehingga dapat dikatakan bahwa jenis golongan kendaraan yang paling mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP hasil pengukuran yang dilakukan pada hari Rabu, 12 Januari 2011 adalah kendaraan golongan II dan kendaraan golongan III. Namun, demikian dengan melihat data hubungan korelasi positif antara volume kendaraan total dengan konsentrasi TSP, dapat diketahui bahwa gabungan volume kendaraan dari tiap-tiap golongan memiliki hubungan yang cukup kuat dan mempengaruhi perubahan nilai konsentrasi TSP.

Minggu, 27 Februari 2011

Pengukuran TSP dan penghitungan volume kendaraan pada hari Minggu, 27 Februari 2011 juga dilakukan pada Gardu 12. Berikut merupakan perbandingan bentuk grafik volume kendaraan tiap golongan dengan grafik konsentrasi TSP.



Gambar 5.3 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I, II, III, IV, dan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Minggu, 27 Februari 2011

Grafik lebih detail yang menggambarkan hubungan volume kendaraan tiap-tiap jenis kendaraan dengan konsentrasi TSP dapat dilihat pada lampiran 6 Poin B. Berikut merupakan tabel hasil analisis perbandingan grafik volume kendaraan untuk golongan I hingga golongan V, serta volume kendaraan total dengan grafik konsentrasi TSP hasil pengukuran pada hari Minggu, 27 Februari 2011.

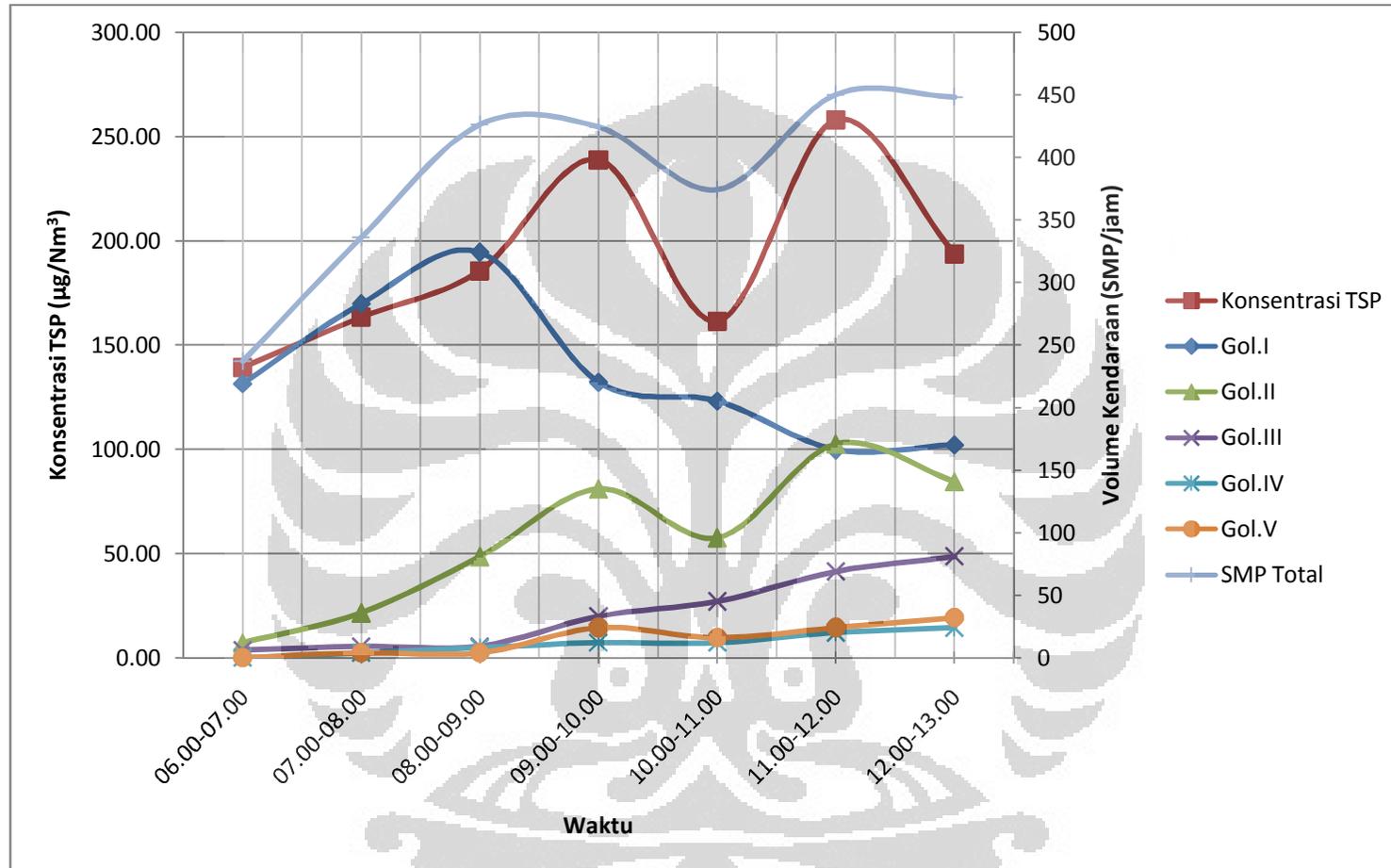
Tabel 5.7 Hasil Analisis Perbandingan Grafik Volume Kendaraan dengan Grafik Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Pada Minggu, 27 Februari 2011

Titik 1	Titik 2	Perbandingan Grafik Konsentrasi TSP dengan					
		Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V	SMP Total
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 +		3	5	3	4	3	2

Dari hasil analisis perbandingan grafik konsentrasi TSP dengan grafik volume kendaraan yang tertera pada tabel di atas, dapat diketahui bahwa volume kendaraan golongan II memiliki jumlah korelasi positif terbanyak dibandingkan dengan volume kendaraan golongan lain, sehingga dapat dikatakan bahwa kendaraan golongan II merupakan jenis golongan kendaraan yang paling mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP hasil pengukuran pada hari Minggu, 27 Februari 2011.

Selasa, 18 Januari 2011

Pengukuran TSP dan penghitungan volume kendaraan pada hari Selasa, 18 Januari 2011 dilakukan pada Gardu 13. Berikut merupakan perbandingan bentuk grafik volume kendaraan tiap golongan dengan grafik konsentrasi TSP.



Gambar 5.4 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I, II, III, IV, dan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13, Selasa, 18 Januari 2011

Grafik lebih detail yang menggambarkan hubungan volume kendaraan tiap-tiap jenis kendaraan dengan konsentrasi TSP dapat dilihat pada lampiran 6 poin C. Berikut merupakan tabel hasil analisis perbandingan grafik volume kendaraan untuk golongan I hingga golongan V, serta volume kendaraan total, dengan grafik konsentrasi TSP hasil pengukuran pada hari Selasa, 18 Januari 2011.

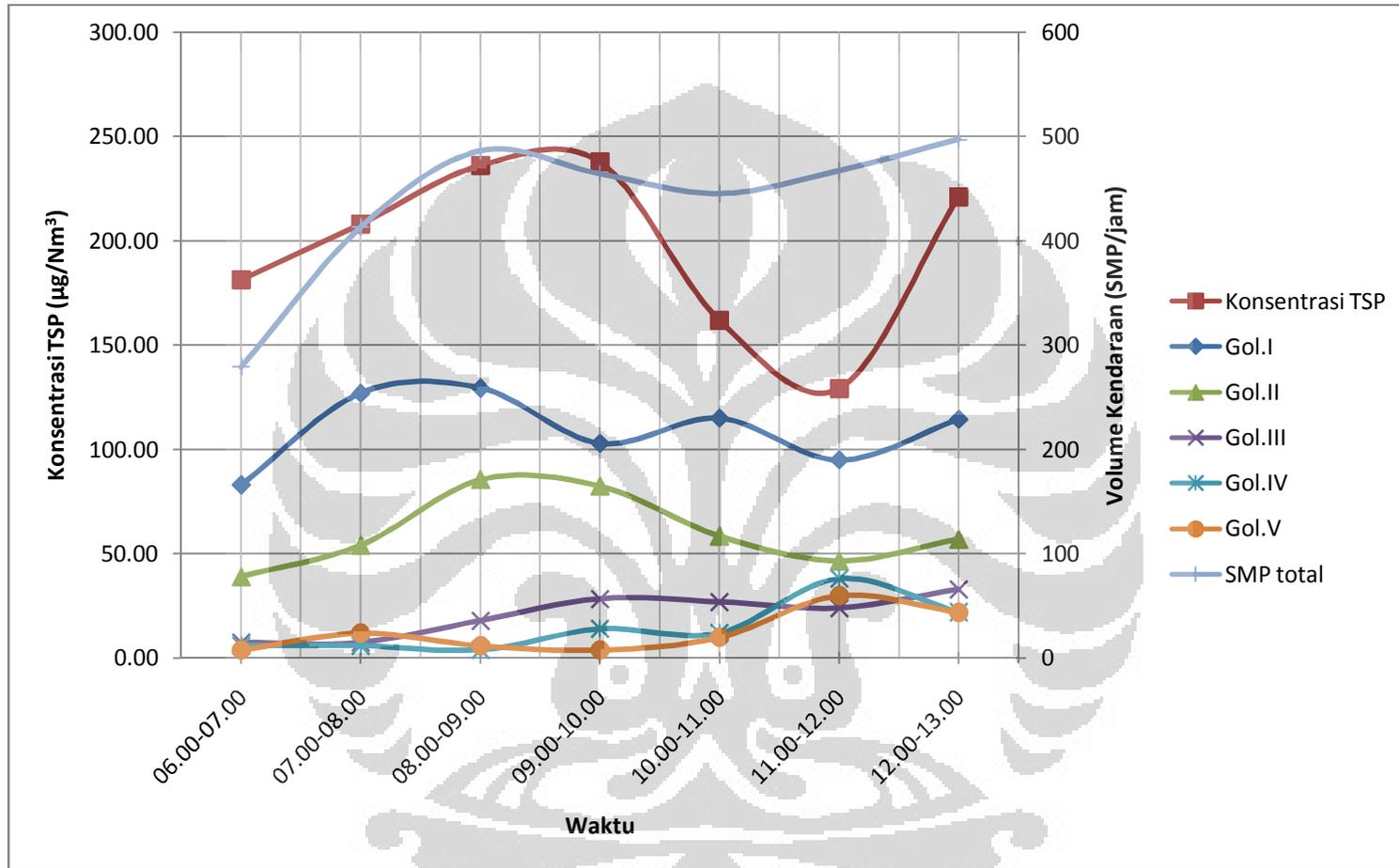
Tabel 5.8 Hasil Analisis Perbandingan Grafik Volume Kendaraan dengan Grafik Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Pada Selasa, 18 Januari 2011

Titik 1	Titik 2	Perbandingan Grafik Konsentrasi TSP dengan					
		Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V	SMP Total
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 +		3	6	3	5	4	4

Dari tabel hasil analisis di atas, dapat diketahui bahwa perbandingan grafik volume kendaraan golongan II dan grafik konsentrasi TSP memiliki jumlah hubungan korelasi positif terbanyak dibandingkan dengan kendaraan golongan lain, sehingga kendaraan golongan II merupakan jenis golongan kendaraan yang paling mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP hasil pengukuran pada Selasa, 18 Januari 2011.

Sabtu, 15 Januari 2011

Pengukuran TSP dan penghitungan volume kendaraan pada hari Sabtu, 15 Januari 2011 juga dilakukan pada Gardu 13. Berikut merupakan perbandingan bentuk grafik volume kendaraan tiap golongan dengan grafik konsentrasi TSP.



Gambar 5.5 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I, II, III, IV, dan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13, Sabtu, 15 Januari 2011

Grafik lebih detail yang menggambarkan hubungan volume kendaraan tiap-tiap jenis kendaraan dengan konsentrasi TSP dapat dilihat pada lampiran 6 poin D. Berikut merupakan tabel hasil analisis perbandingan grafik volume kendaraan untuk golongan I hingga golongan V, serta volume kendaraan total, dengan grafik konsentrasi TSP hasil pengukuran pada hari Sabtu, 15 Januari 2011.

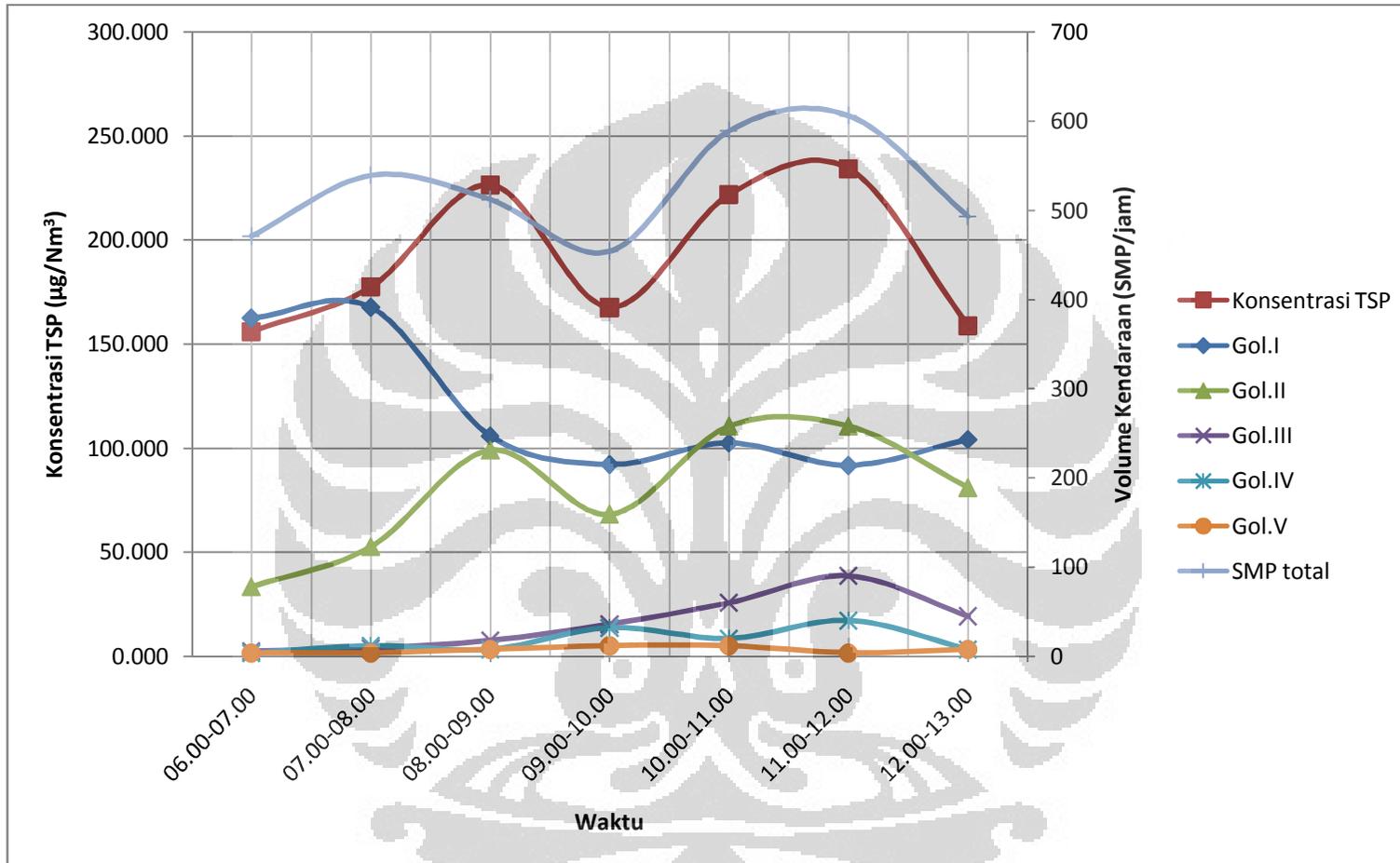
Tabel 5.9 Hasil Analisis Perbandingan Grafik Volume Kendaraan dengan Grafik Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Pada Sabtu, 15 Januari 2011

Titik 1	Titik 2	Perbandingan Grafik Konsentrasi TSP dengan					
		Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V	SMP Total
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 +		4	6	5	2	1	4

Dari tabel hasil analisis perbandingan grafik volume kendaraan dengan grafik konsentrasi TSP, diketahui bahwa perbandingan grafik volume kendaraan golongan II dan grafik konsentrasi TSP memiliki hubungan korelasi positif terbanyak dibandingkan dengan grafik volume kendaraan golongan lainnya, oleh sebab itu dapat dikatakan bahwa kendaraan golongan II merupakan jenis kendaraan yang paling mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP hasil pengukuran pada Sabtu, 15 Januari 2011.

Rabu, 23 Februari 2011

Pengukuran TSP dan penghitungan volume kendaraan pada hari Rabu, 23 Februari 2011 dilakukan pada Gardu 14. Berikut merupakan perbandingan bentuk grafik volume kendaraan tiap golongan dengan grafik konsentrasi TSP.



Gambar 5.6 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I, II, III, IV, dan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14, Rabu, 23 Februari 2011

Grafik lebih detail yang menggambarkan hubungan volume kendaraan tiap-tiap jenis kendaraan dengan konsentrasi TSP dapat dilihat pada lampiran 6 poin E. Berikut merupakan tabel hasil analisis perbandingan grafik volume kendaraan untuk golongan I hingga golongan V, serta volume kendaraan total, dengan grafik konsentrasi TSP hasil pengukuran pada hari Rabu, 23 Februari 2011.

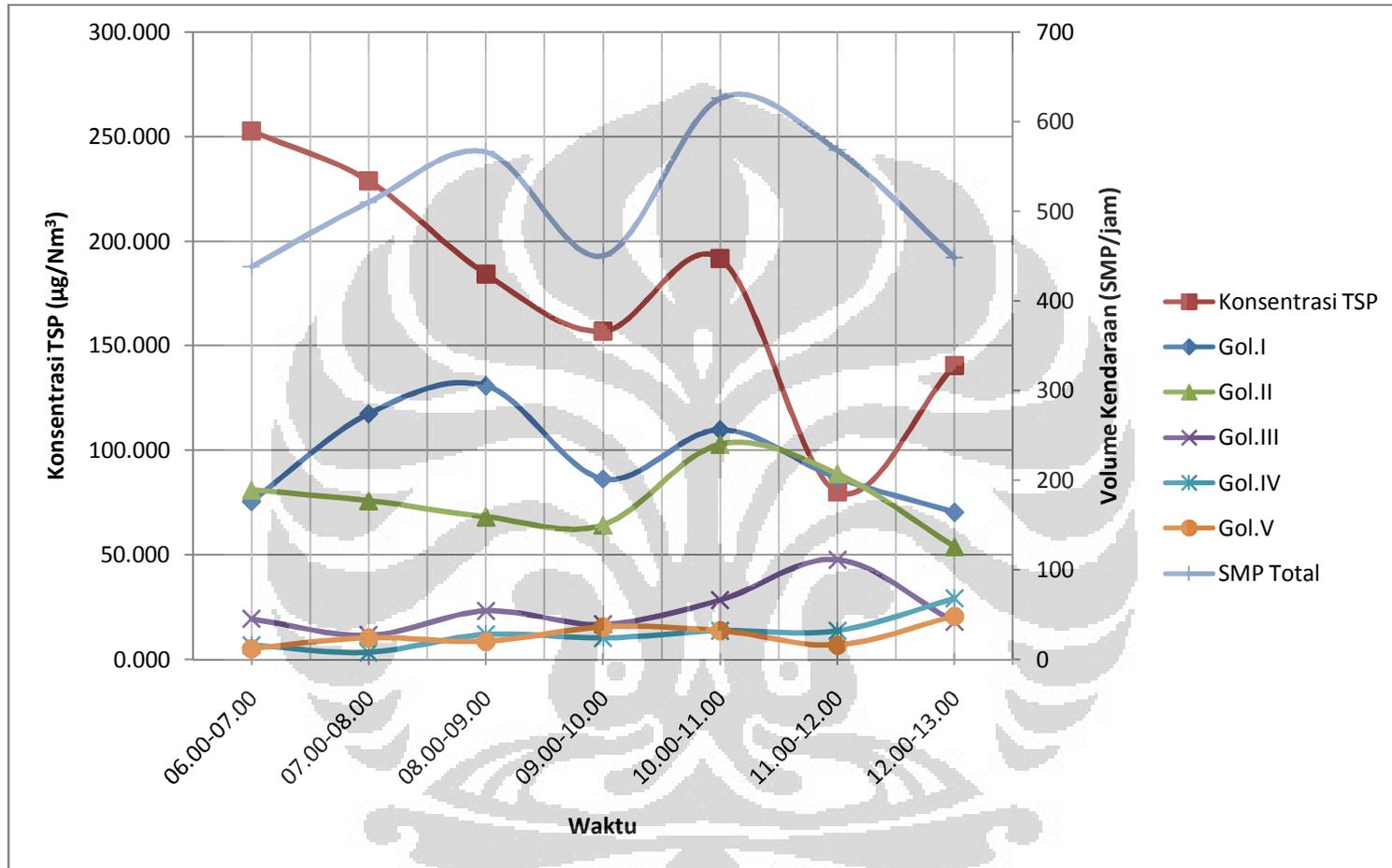
Tabel 5.10 Hasil Analisis Perbandingan Grafik Volume Kendaraan dengan Grafik Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Pada Rabu, 23 Februari 2011

Titik 1	Titik 2	Perbandingan Grafik Konsentrasi TSP dengan					
		Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V	SMP Total
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 +		3	6	5	3	3	5

Dari tabel hasil analisis di atas, dapat dilihat bahwa perbandingan antara grafik volume kendaraan golongan II dengan grafik konsentrasi TSP memiliki jumlah hubungan korelasi positif terbanyak dibandingkan dengan grafik volume kendaraan golongan lain. Hal ini menunjukkan kendaraan golongan II merupakan jenis kendaraan yang paling mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP hasil pengukuran pada Rabu, 23 Februari 2011.

Sabtu, 26 Februari 2011

Pengukuran TSP dan penghitungan volume kendaraan pada hari Sabtu, 16 Februari 2011 juga dilakukan pada Gardu 14. Berikut merupakan perbandingan bentuk grafik volume kendaraan tiap golongan dengan grafik konsentrasi TSP.



Gambar 5.7 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I, II, III, IV, dan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14, Sabtu 26 Februari 2011

Grafik lebih detail yang menggambarkan hubungan volume kendaraan tiap-tiap jenis kendaraan dengan konsentrasi TSP dapat dilihat pada lampiran 6 poin F. Berikut merupakan tabel hasil analisis perbandingan kelima grafik volume kendaraan untuk golongan I hingga golongan V dengan grafik konsentrasi TSP hasil pengukuran pada hari Sabtu, 26 Februari 2011.

Tabel 5.11 Hasil Analisis Perbandingan Grafik Volume Kendaraan dengan Grafik Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran Pada Sabtu, 26 Februari 2011

Titik 1	Titik 2	Perbandingan Grafik Konsentrasi TSP dengan					
		Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V	SMP Total
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 +		3	5	3	4	3	3

Dari tabel hasil analisis di atas, dapat diketahui bahwa jenis kendaraan yang paling mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP hasil pengukuran pada hari Sabtu, 26 Februari 2011 adalah kendaraan golongan II, karena perbandingan antara grafik volume kendaraan golongan II dengan grafik konsentrasi TSP memiliki hubungan korelasi positif terbanyak dibandingkan dengan volume kendaraan golongan lain.

Semua hasil analisis deskriptif grafik volume kendaraan tiap golongan terhadap grafik konsentrasi TSP pada tiap hari pengukuran dapat dilihat pada tabel resume berikut.

Tabel 5.12 Resume Jumlah Korelasi Positif Hasil Analisis Deskriptif Grafik Volume Kendaraan Tiap Golongan terhadap Grafik Konsentrasi TSP

Hari Pengukuran	Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V	SMP Total
Rabu, 12 Jan 2011	3	5	5	4	3	5
Minggu, 27 Feb 2011	3	5	3	4	3	2
Selasa, 18 Jan 2011	3	6	3	5	4	4
Sabtu, 15 Jan 2011	4	6	5	2	1	4
Rabu, 23 Feb 2011	3	6	5	3	3	5
Sabtu, 26 Feb 2011	3	5	3	4	3	3
Σ Total Korelasi +	19	33	24	22	17	23

Dari tabel resume hasil analisis di atas, dapat dilihat bahwa perbandingan grafik volume kendaraan golongan II dengan grafik konsentrasi TSP menghasilkan jumlah total hubungan korelasi positif terbanyak dibandingkan dengan volume kendaraan golongan lainnya. Oleh sebab itu, dapat diambil kesimpulan bahwa volume kendaraan golongan II, yang merupakan truk dengan dua gandar, merupakan jenis kendaraan yang paling mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur pada udara ambien di pintu tol Cililitan 2.

Analisis tersebut menunjukkan hasil kesimpulan akhir yang sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Janssen *et.al* (2001) dalam jurnal yang berjudul “*Assessment of Exposure to Traffic Related Air Pollution of Children Attending Schools Near Motorways*”. Dalam jurnal tersebut dikatakan bahwa Janssen *et al.* melakukan penelitian terhadap kesehatan pernapasan anak-anak yang bermukim dan bersekolah di tempat yang berjarak 400 m dari jalur kendaraan bermotor di Belanda. Salah satu parameter yang digunakan sebagai variabel terikat adalah partikulat (PM_{2,5}) dan jelaga, sedangkan variabel bebasnya meliputi laju angin, jarak tempat dengan jalur kendaraan bermotor, serta jumlah kendaraan bermotor yang dibagi ke dalam dua kelas, yaitu mobil dan truk. Pengukuran PM_{2,5} dilakukan di dalam dan di luar ruangan kelas secara mingguan dengan menggunakan Harvard Impactors pada laju alir udara 10 liter/menit dan Teflon Filter Andersen dengan ukuran pori 2 m. Pengukuran di dalam dilakukan selama jam sekolah (Rabu 09.00-13.00 dan 09.00-15.00 di hari lain), sedangkan

pengukuran di luar dilakukan setiap hari selama 15 menit tiap jam untuk menghindari *overloading* sampel. Penentuan hubungan antara konsentrasi pencemar udara dengan kerapatan lalu lintas, jarak, dan persentase laju angin dilakukan dengan menggunakan analisis regresi berganda. Hasil dari penelitian tersebut menyebutkan bahwa konsentrasi partikulat, yang dinyatakan dalam $PM_{2,5}$ dan jelaga, meningkat secara signifikan dengan peningkatan kerapatan lalu lintas truk, namun tidak terjadi secara signifikan pada peningkatan jumlah kendaraan berbahan bakar bensin. Menurut penelitian Hildemann *et.al* (1991) berupa studi tentang emisi kendaraan, hal tersebut terjadi karena kendaraan diesel menghasilkan emisi partikulat yang lebih banyak dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar bensin. Kinney *et.al* (2000) juga menemukan kenyataan bahwa konsentrasi EC (*Elemental Carbon*), yang merupakan elemen utama dari jelaga diesel, memiliki nilai yang empat kali lebih tinggi pada sisi jalan dengan kerapatan lalu lintas 2.467 truk dan bus per delapan jam dibandingkan dengan konsentrasi EC pada lokasi background.

Selain itu, terdapat beberapa hasil penelitian lain yang juga memiliki kesimpulan yang sama, diantaranya:

1. Horvath *et.al* (1988) juga menemukan bahwa terdapat korelasi yang kuat ($R=0,95$) antara konsentrasi partikulat dengan jumlah kendaraan diesel yang terukur pada tujuh lokasi di Vienna.
2. Roorda-Knape *et al.* (1998) menemukan bahwa konsentrasi jelaga pada kelas-kelas di sekolah yang terdapat di dekat jalur lalu lintas kendaraan bermotor memiliki hubungan yang signifikan dengan kerapatan lalu lintas truk.

Hasil penelitian-penelitian sebelumnya tersebut memperkuat kesimpulan hasil analisis bahwa volume kendaraan golongan II, berupa truk dengan dua gandar, merupakan jenis kendaraan yang paling mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur pada udara ambien di pintu tol Cililitan 2.

5.3. Perbandingan Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran dengan Baku Mutu Udara Ambien

Nilai baku mutu udara ambien yang digunakan sebagai tolak ukur adalah nilai baku mutu untuk parameter TSP sesuai dengan PP No.41 Tahun 1999. Pada

peraturan tersebut disebutkan bahwa nilai baku mutu TSP sebesar $230 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk waktu pengukuran 24 jam dan $90 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk waktu pengukuran satu tahun. Nilai baku mutu yang akan digunakan sebagai nilai pembanding adalah baku mutu TSP untuk waktu pengukuran 24 jam, yaitu sebesar $230 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Agar dapat dilakukan perbandingan antara konsentrasi TSP hasil pengukuran dengan baku mutu udara ambien yang berlaku, maka konsentrasi TSP dengan waktu pengukuran selama satu jam yang didapat dari lapangan harus dilakukan konversi terlebih dahulu agar didapatkan suatu estimasi nilai yang mendekati konsentrasi TSP dengan waktu pengukuran 24 jam. Konversi tersebut dilakukan dengan menggunakan persamaan Canter. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai konversi tersebut.

$$C_1 = C_2 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^p \quad (5.3)$$

Dimana, C_1 adalah konsentrasi yang setara dengan konsentrasi TSP di udara dengan waktu pengukuran 24 jam, C_2 adalah konsentrasi TSP di udara dengan waktu pengukuran 1 jam, p adalah faktor konversi dengan nilai antara 0,17 sampai 0,2, t_2 adalah waktu pengukuran saat dilakukan pengambilan sampel, yaitu selama 1 jam, dan t_1 adalah waktu pengukuran selama 24 jam.

Proses perhitungan konversi dapat dilihat pada lampiran 5. Berikut merupakan tabel hasil perhitungan konversi dan perbandingannya dengan baku mutu.

Tabel 5.13 Perbandingan Konsentrasi TSP Hasil Konversi dengan Baku Mutu Udara Ambien sesuai PP No.41 Tahun 1999

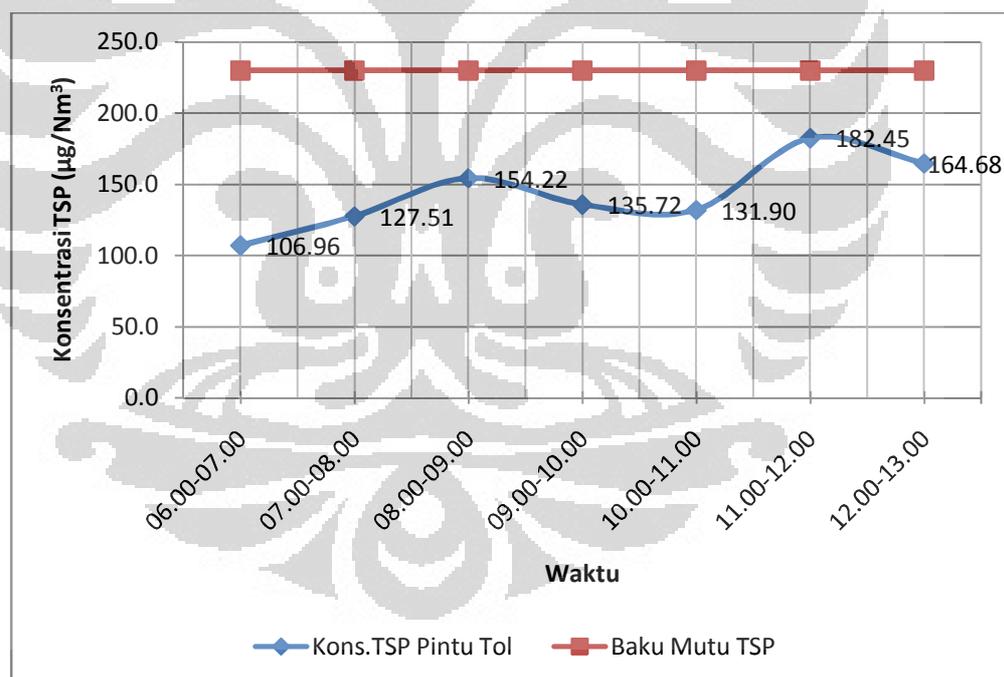
Gardu	Hari/Tanggal	Waktu	Kons.TSP Hasil Konversi ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
12	Rabu, 12 Januari 2011	06.00-07.00	148,860
		07.00-08.00	184,039
		08.00-09.00	222,615
		09.00-10.00	170,445
		10.00-11.00	172,449
		11.00-12.00	260,741
		12.00-13.00	288,745

Lanjutan Tabel 5.13 Perbandingan Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran dengan Baku Mutu Udara Ambien sesuai PP No.41 Tahun 1999

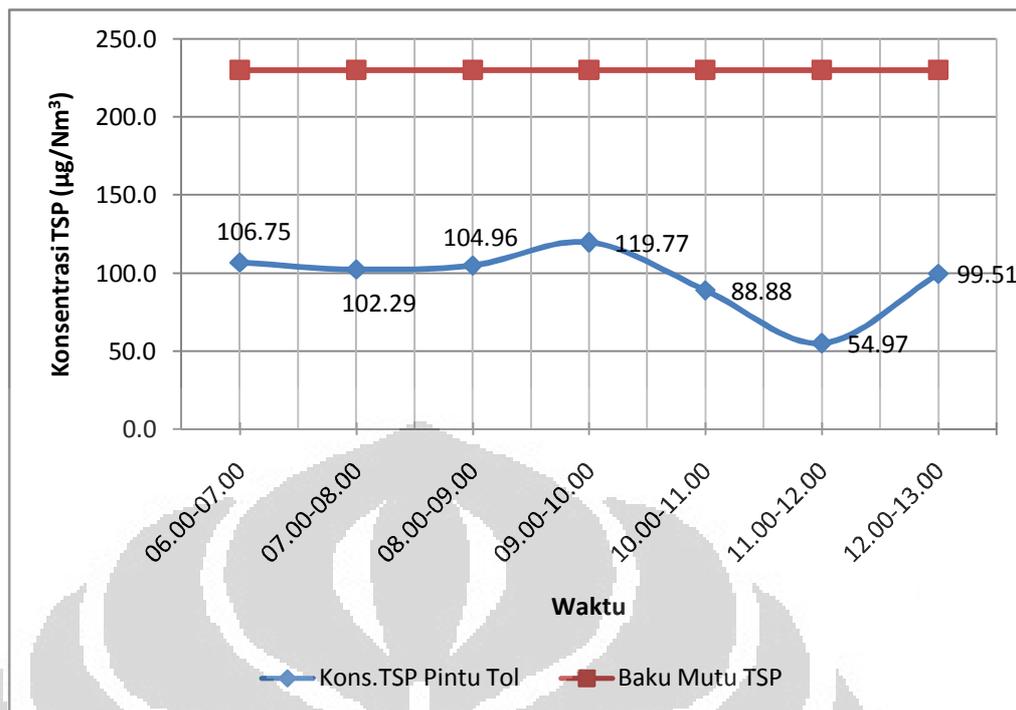
Gardu	Hari/Tanggal	Waktu	Kons.TSP Hasil Konversi ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
12	Minggu, 27 Feb 2011	06.00-07.00	67,435
		07.00-08.00	52,436
		08.00-09.00	70,026
		09.00-10.00	129,373
		10.00-11.00	60,629
		11.00-12.00	42,949
		12.00-13.00	87,944
13	Selasa, 18 Januari 2011	06.00-07.00	81,161
		07.00-08.00	95,135
		08.00-09.00	108,078
		09.00-10.00	139,065
		10.00-11.00	94,009
		11.00-12.00	150,166
		12.00-13.00	112,789
13	Sabtu, 15 Januari 2011	06.00-07.00	105,701
		07.00-08.00	121,169
		08.00-09.00	137,553
		09.00-10.00	138,548
		10.00-11.00	94,396
		11.00-12.00	75,301
		12.00-13.00	128,754
14	Rabu, 23 Februari 2011	06.00-07.00	90,871
		07.00-08.00	103,360
		08.00-09.00	131,970
		09.00-10.00	97,637
		10.00-11.00	129,234
		11.00-12.00	136,430
		12.00-13.00	92,520
14	Sabtu, 26 Februari 2011	06.00-07.00	147,107
		07.00-08.00	133,269
		08.00-09.00	107,300
		09.00-10.00	91,398
		10.00-11.00	111,616
		11.00-12.00	46,669
		12.00-13.00	81,830

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa terdapat dua buah nilai konsentrasi TSP yang melebihi baku mutu udara yang berlaku. Hal tersebut terjadi pada hasil pengukuran Rabu, 12 Januari 2011 yang dilakukan pada gardu 12 untuk pukul 11.00-12.00 dan 12.00-13.00.

Untuk menggambarkan besarnya nilai konsentrasi TSP yang terjadi di pintu tol Cililitan 2 secara keseluruhan, maka juga dilakukan perbandingan antara rata-rata konsentrasi TSP pada hari kerja dan hari libur dengan baku mutu udara yang berlaku. Perbandingan tersebut dilakukan setelah nilai rata-rata konsentrasi TSP pada hari libur dan hari kerja dikonversi dengan menggunakan persamaan Canter. Proses perhitungan konversi rata-rata konsentrasi TSP juga dapat dilihat pada lampiran 5. Berikut merupakan grafik hasil perhitungan konversi rata-rata konsentrasi TSP dan perbandingannya dengan baku mutu TSP sesuai dengan PP No.41 Tahun 1999, yaitu sebesar $230 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.



Gambar 5.8 Grafik Perbandingan Rata-rata Konsentrasi TSP di Pintu Tol Pada Hari Kerja dengan Baku Mutu Udara Ambien untuk TSP



Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Rata-rata Konsentrasi TSP di Pintu Tol Pada Hari Libur dengan Baku Mutu Udara Ambien untuk TSP

Dapat dilihat pada kedua grafik perbandingan di atas, nilai rata-rata konsentrasi TSP untuk hari kerja dan hari libur tidak ada yang melebihi baku mutu udara yang berlaku.

5.4. Uji Korelasi Berganda antara Volume Kendaraan dengan Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran

Seberapa besar hubungan atau kaitan antara volume kendaraan terhadap konsentrasi TSP hasil pengukuran dapat diketahui melalui uji korelasi antara data volume kendaraan dengan data konsentrasi TSP. Uji korelasi yang akan digunakan adalah uji korelasi berganda. Uji korelasi berganda ini digunakan untuk melihat seberapa besar kontribusi dari tiap-tiap golongan kendaraan terhadap konsentrasi TSP yang terukur dengan menganggap tiap-tiap golongan kendaraan tersebut sebagai suatu variabel bebas yang independent atau dapat berdiri sendiri. Kelima variabel bebas dari lima buah golongan kendaraan tersebut kemudian diasumsikan sebagai faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP yang dijadikan sebagai variabel terikat dengan mengabaikan faktor pengaruh

lainnya. Hubungan antara volume kendaraan dan konsentrasi TSP yang terukur dinyatakan dalam suatu persamaan regresi dengan lima buah variabel bebas sebagai berikut.

$$\hat{Y} = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + b \quad (5.4)$$

Dimana,

Y = Konsentrasi TSP hasil pengukuran di lapangan ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

X₁ = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan I yang melintasi pintu tol

X₂ = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan II yang melintasi pintu tol

X₃ = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan III yang melintasi pintu tol

X₄ = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan IV yang melintasi pintu tol

X₅ = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan V yang melintasi pintu tol

Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan I hingga V dinyatakan dalam satuan SMP/jam. Perhitungan koefisien-koefisien dalam persamaan regresi berganda di atas dapat dilihat pada lampiran 8 poin B. Dari perhitungan tersebut dihasilkan persamaan regresi sebagai berikut.

$$Y = -0,244 X_1 + 0,881 X_2 - 1,243 X_3 + 1,619 X_4 - 2,095 X_5 + 190,435 \quad (5.5)$$

Dengan hasil perhitungan untuk nilai koefisien determinasi R² sebesar 0,331 dan koefisien korelasi R sebesar 0,575. Nilai R² menunjukkan besarnya proporsi variasi Y yang dipengaruhi oleh variasi X. Nilai R² hasil perhitungan menunjukkan angka 0,331, hal ini berarti 33,1 % konsentrasi TSP yang terukur dipengaruhi oleh besarnya volume kendaraan, sedangkan 66,9 % sisanya menunjukkan penyimpangan-penyimpangan pada nilai Y yang dipengaruhi oleh faktor-faktor lain.

Sedangkan nilai R yang dihitung merupakan suatu nilai yang mencerminkan hubungan korelasi variabel X secara keseluruhan terhadap variabel Y. nilai koefisien korelasi tersebut merupakan gabungan kontribusi tiap-tiap variabel X terhadap variabel terikatnya.

Hasil perhitungan nilai R menunjukkan nilai sebesar 0,575, nilai ini menandakan variabel bebas dan variabel terikat dalam persamaan regresi tersebut secara umum memiliki hubungan atau kaitan yang cukup kuat.

Kontribusi dari tiap-tiap variabel bebas terhadap variabel terikatnya dapat dilihat pada besarnya nilai koefisien masing-masing variabel bebas pada

persamaan regresi. Koefisien regresi tersebut menunjukkan seberapa besar bobot kontribusi dari tiap-tiap variabel bebas terhadap variabel terikatnya. Semakin besar nilai koefisien regresi, maka semakin besar pula kontribusi variabel bebas tersebut terhadap variabel terikat. Dari persamaan regresi berganda yang telah dihitung, diketahui:

1. koefisien regresi untuk variabel X_1 adalah -0,244
menandakan bahwa setiap penambahan nilai variabel X_1 sebesar 1 akan menurunkan nilai variabel Y sebesar 0,244.
2. koefisien regresi untuk variabel X_2 adalah 0,881
menandakan bahwa setiap penambahan nilai variabel X_2 sebesar 1 akan menaikkan nilai variabel Y sebesar 0,881.
3. koefisien regresi untuk variabel X_3 adalah -1.243
menandakan bahwa setiap penambahan nilai variabel X_3 sebesar 1 akan menurunkan nilai variabel Y sebesar 1,243.
4. koefisien regresi untuk variabel X_4 adalah 1,619
menandakan bahwa setiap penambahan nilai variabel X_4 sebesar 1 akan menaikkan nilai variabel Y sebesar 1,619.
5. koefisien regresi untuk variabel X_5 adalah -2,095
menandakan bahwa setiap penambahan nilai variabel X_5 sebesar 1 akan menurunkan nilai variabel Y sebesar 2,095.

Dapat dilihat di atas, terdapat koefisien yang bernilai negatif, yaitu koefisien regresi untuk variabel X_1 , X_3 , dan X_5 . Hal tersebut tidak dapat diterima karena secara logika penambahan nilai volume kendaraan sebagai sumber polutan akan mengakibatkan penambahan TSP sebagai polutannya. Hal ini menandakan bahwa terdapat faktor pengaruh luar yang tidak bisa diabaikan yang kemudian menyebabkan nilai koefisien tersebut tidak dapat dijadikan sebagai parameter untuk menentukan jenis golongan kendaraan mana yang paling berkontribusi terhadap besarnya nilai TSP yang terukur.

Karena persamaan regresi berganda tidak dapat menyatakan hubungan antara volume kendaraan dengan konsentrasi TSP secara valid sebagai akibat adanya nilai koefisien regresi yang negatif, maka dilakukan uji korelasi kembali dengan menggunakan metode regresi sederhana dengan satu buah variabel bebas

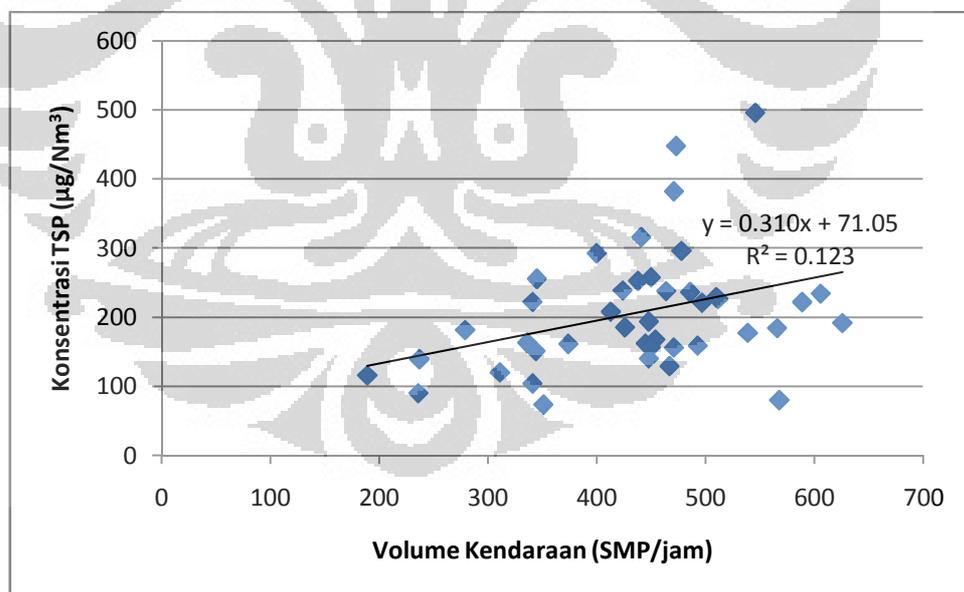
berupa gabungan volume kendaraan total terhadap variabel terikatnya, yaitu konsentrasi TSP.

5.5. Uji Korelasi Sederhana antara Volume Kendaraan Total dengan Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran

Uji korelasi sederhana dilakukan dengan menggunakan satu buah variabel bebas berupa volume kendaraan total. Volume kendaraan total didapat dari penjumlahan seluruh volume kendaraan golongan I, II, III, IV, dan V pada waktu tertentu dalam satuan SMP/jam. Persamaan regresi yang menyatakan hubungan antara volume kendaraan total dengan konsentrasi TSP ditentukan dengan menggunakan metode *least square*. Perhitungan persamaan regresi dan koefisien korelasinya dapat dilihat pada lampiran 7. Dari hasil perhitungan tersebut didapat persamaan regresi sebagai berikut.

$$Y = 0,310 X + 71,05 \quad (5.6)$$

Berikut merupakan grafik hubungan antara nilai volume kendaraan total terhadap konsentrasi TSP yang terukur.



Gambar 5.10 Grafik Hubungan antara Volume Kendaraan Total Terhadap Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran

Hasil perhitungan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,123 dan koefisien korelasi R sebesar 0,351. Nilai koefisien R sebesar 0,351 menunjukkan hubungan

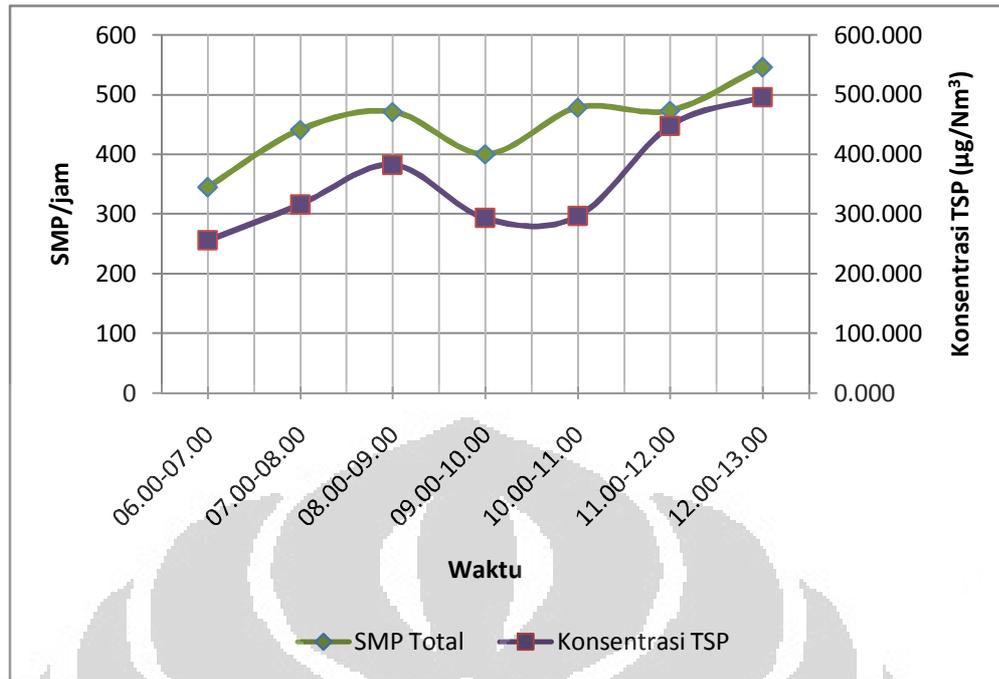
yang lemah antara volume kendaraan total sebagai variabel X dan konsentrasi TSP sebagai variabel Y. Sedangkan, nilai R^2 sebesar 0,123 memiliki makna bahwa 12,3 % dari konsentrasi TSP yang terukur (variabel Y), dipengaruhi oleh volume kendaraan total (variabel X), sedangkan sisanya 87,7 % konsentrasi TSP dipengaruhi oleh faktor-faktor lainnya. Dapat dilihat pada hasil perhitungan tersebut, bahwa mayoritas konsentrasi TSP yang terukur lebih dipengaruhi oleh faktor-faktor lain dibandingkan dengan faktor volume kendaraan. Oleh karena itu akan dilakukan analisis konsentrasi TSP terhadap data faktor meteorologis berupa nilai suhu dan kelembaban.

5.6. Analisis Fluktuasi Konsentrasi TSP Terhadap Data Faktor Meteorologis

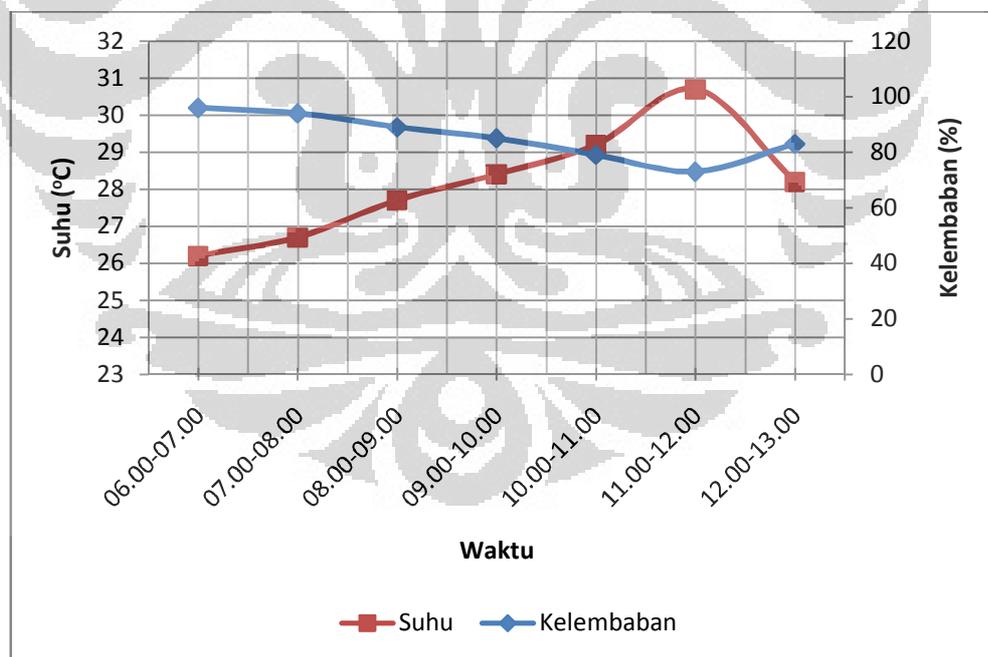
Hasil analisis sebelumnya menyatakan bahwa sebesar 87,7% konsentrasi TSP dipengaruhi oleh faktor lain, selain dari faktor volume kendaraan. Faktor meteorologis merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur di lapangan. Oleh karena itu, berikut akan dibahas mengenai analisis pengaruh perubahan faktor meteorologis, yang terdiri dari data suhu dan kelembaban, terhadap nilai konsentrasi TSP guna menjelaskan kejadian penyimpangan pada hasil pengukuran TSP di lapangan sebagai akibat dari terjadinya reaksi-reaksi fisik dan kimia yang dipengaruhi oleh perubahan faktor meteorologis.

Rabu, 12 Januari 2011

Berikut merupakan grafik fluktuasi volume kendaraan dan konsentrasi TSP serta grafik fluktuasi data suhu dan kelembaban yang didapat dari lapangan.



Gambar 5.11 Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP Rabu, 12 Januari 2011



Gambar 5.12 Grafik Fluktuasi Data Suhu dan Kelembaban Rabu, 12 Januari 2011

Dapat dilihat pada gambar 5.17, data volume kendaraan dan konsentrasi TSP memiliki hubungan linier yang sebanding mulai dari pukul 06.00 hingga

pukul 11.00, dimana kenaikan volume kendaraan diringi dengan kenaikan pada data konsentrasi TSP yang terukur. Hubungan linier yang sebanding tersebut kemudian mendapat gangguan antara pukul 11.00-12.00, dimana konsentrasi TSP naik secara signifikan namun tidak diimbangi dengan penambahan volume kendaraan, dan kemudian kembali linier sebanding pada data pukul 12.00-13.00. kejadian penyimpangan antara pukul 11.00-12.00 dapat dijelaskan dengan melihat grafik perubahan data suhu dan kelembaban yang tertera pada gambar 5.18.

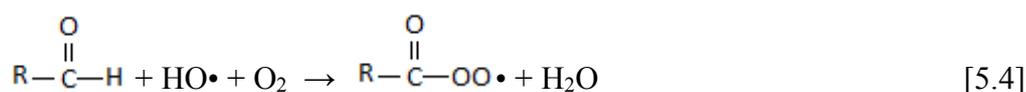
Dari gambar 5.18, diketahui bahwa data suhu pada pukul 11.00-12.00 mengalami peningkatan hingga mencapai nilai suhu maksimum sebesar 30,7 °C, dimana peningkatan suhu tersebut diiringi dengan penurunan nilai kelembaban hingga mencapai nilai minimumnya. Peningkatan suhu tersebut mengindikasikan adanya panas oleh cahaya matahari. Dengan melihat kenyataan tersebut, diperkirakan penyimpangan yang terjadi adalah sebagai akibat dari keberadaan senyawa karbonil, yang merupakan salah satu polutan udara organik. Senyawa karbonil ini terdiri dari aldehid dan keton dan terbentuk akibat reaksi oksidasi fotokimia hidrokarbon di atmosfer, dimana hidrokarbon merupakan salah satu zat polutan yang diemisikan oleh kendaraan bermotor. Senyawa aldehid yang terbentuk itu kemudian bereaksi dengan oksigen di udara dalam reaksi fotokimia dan menghasilkan gugus radikal peroksil (ROO•), karbon monoksida, dan radikal hidroperoksil (HOO•) sesuai dengan persamaan reaksi berikut.



ROO• dan HOO• yang dihasilkan dari reaksi tersebut kemudian mengoksidasi senyawa NO yang diemisikan oleh kendaraan bermotor menjadi NO₂ sesuai dengan reaksi sebagai berikut.

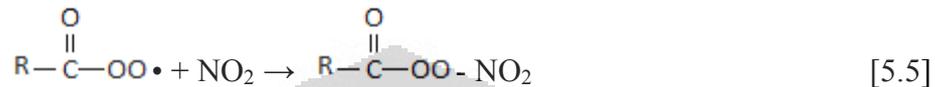


Setelah itu, produk radikal hidroksil (HO•) yang dihasilkan pada reaksi di atas akan bereaksi dengan oksigen dan senyawa aldehid lainnya di atmosfer sesuai dengan reaksi berikut.



Dapat dilihat bahwa salah satu produk yang dihasilkan pada reaksi di atas berupa H₂O dalam bentuk titik-titik air di udara. Hal ini lah yang menyebabkan tingkat kelembaban meningkat pada data pukul 12.00-13.00.

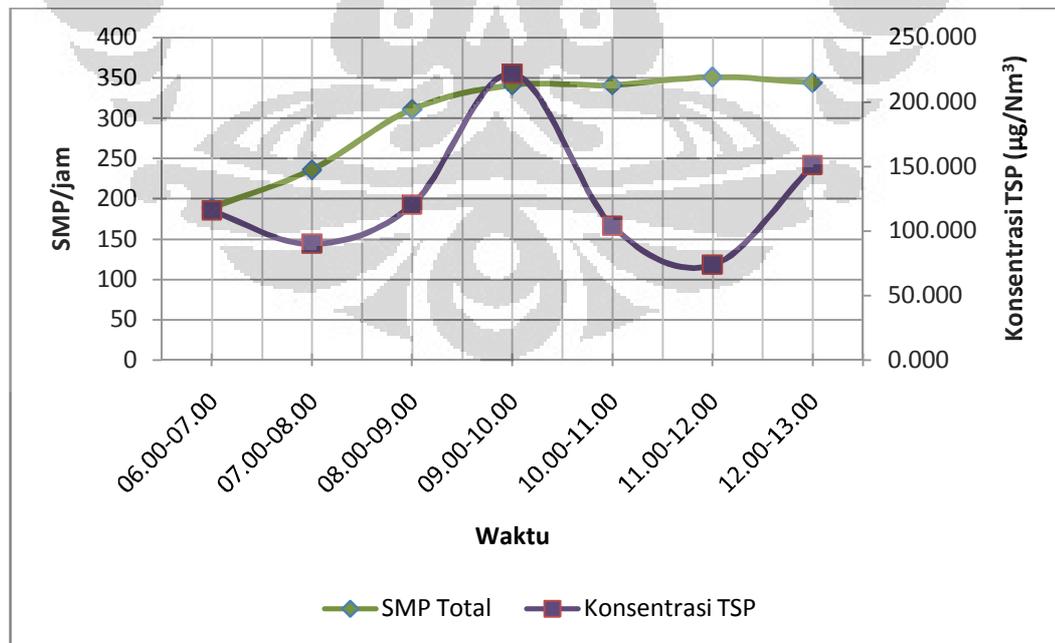
Kemudian gugus $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OO}\cdot$ yang dihasilkan pada reaksi [5.4] akan bereaksi dengan senyawa NO₂ yang dihasilkan dari reaksi oksidasi NO oleh ROO• dan HOO• sesuai reaksi [5.2] dan [5.3] dengan persamaan reaksi sebagai berikut.



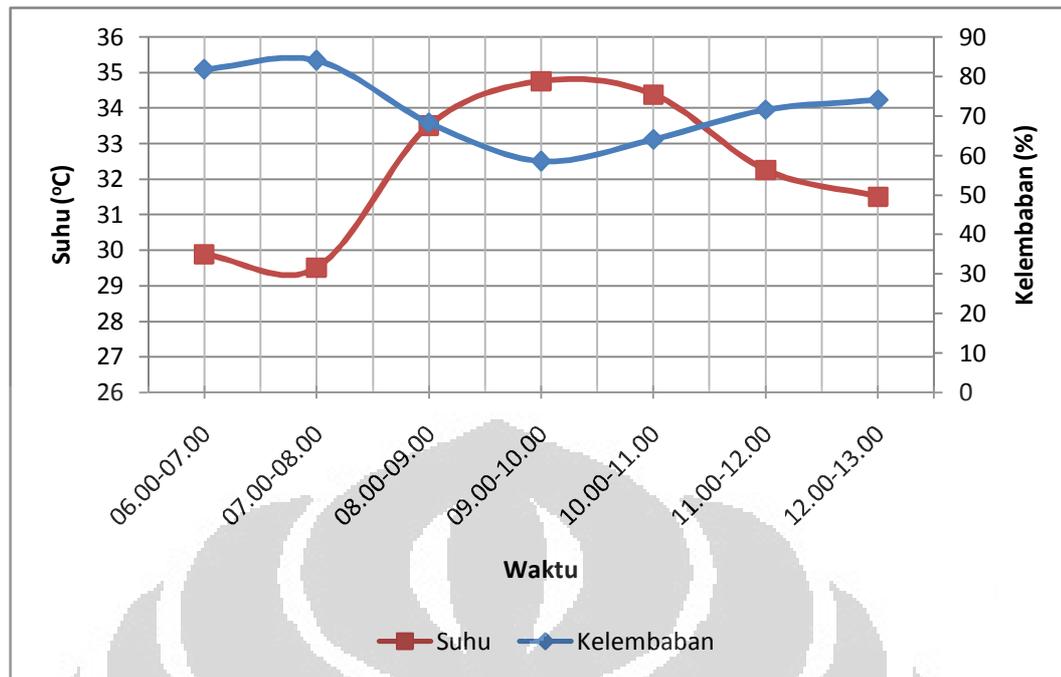
Jika gugus R tersebut merupakan methyl group, maka produk yang dihasilkan dari reaksi [5.5] adalah Peroxy Acetyl Nitrate (PAN) yang berbentuk padatan yang merupakan partikulat sekunder. Partikulat sekunder yang dihasilkan dari reaksi tersebut kemudian ikut terhisap oleh HVAS dan terukur sebagai konsentrasi TSP, sehingga besarnya nilai konsentrasi TSP yang dihasilkan tidak sesuai dengan volume kendaraan yang ada.

Minggu, 27 Februari 2011

Berikut merupakan grafik fluktuasi volume kendaraan dan konsentrasi TSP serta grafik fluktuasi data suhu dan kelembaban yang didapat dari lapangan.



Gambar 5.13 Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP Minggu, 27 Januari 2011



Gambar 5.14 Grafik Fluktuasi Data Suhu dan Kelembaban Minggu, 27 Januari 2011

Dapat dilihat pada gambar 5.19, hubungan linier korelasi positif hanya terdapat pada data pukul 07.00-08.00 menuju data pukul 08.00-09.00, dimana kenaikan volume kendaraan diiringi dengan kenaikan pada konsentrasi TSP. Pada grafik fluktuasi faktor meteorologis data pukul 06.00-07.00 hingga data pukul 07.00-08.00, diketahui bahwa nilai suhunya menunjukkan penurunan yang kemudian diiringi dengan kenaikan tingkat kelembaban. Adanya kenaikan tingkat kelembaban tersebut memungkinkan partikulat yang diemisikan oleh kendaraan bermotor tertangkap oleh butir-butir air yang terdapat di udara, sehingga tidak terukur sebagai konsentrasi TSP. Oleh karena itu, hasil pengukuran konsentrasi TSP pada rentang waktu ini mengalami penurunan, sedangkan volume kendaraannya mengalami kenaikan.

Kemudian penyimpangan juga terjadi pada data pukul 08.00-09.00 hingga data pukul 09.00-10.00, dimana konsentrasi TSP naik secara signifikan tetapi tidak diimbangi dengan kenaikan volume kendaraan yang cukup besar. Dari grafik fluktuasi suhu dan kelembaban, diketahui bahwa terdapat kenaikan suhu dari pukul 08.00 hingga pukul 10.00 yang disertai dengan adanya penurunan tingkat kelembaban. Kenaikan suhu ini mengindikasikan terdapatnya sinar matahari yang

cukup untuk membuat reaksi [5.1], [5.2], [5.3], [5.4], dan [5.5] terjadi dan kemudian menyebabkan penyimpangan pada hasil pengukuran TSP.

Pada data konsentrasi TSP pukul 09.00-10.00 hingga pukul 10.00-11.00 menunjukkan penurunan, sedangkan volume kendaraannya bertambah. Hal ini dikarenakan tingkat kelembaban pada rentang waktu ini meningkat, sehingga terdapat partikulat yang tertangkap oleh butir air di udara. Peristiwa ini menyebabkan konsentrasi TSP yang terukur menjadi tidak menggambarkan besarnya total konsentrasi TSP yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Hal tersebut terus berlanjut hingga pukul 12.00, dimana terus terjadi penurunan konsentrasi TSP yang terukur, namun dengan jumlah volume kendaraan yang meningkat.

Dari data pukul 11.00-12.00 hingga pukul 12.00-13.00, terlihat bahwa terjadi penurunan volume kendaraan yang diiringi dengan kenaikan konsentrasi TSP. Pada grafik fluktuasi suhu dan kelembaban, data suhu pukul 11.00-12.00 mengalami penurunan pada data pukul 12.00-13.00, yang disertai dengan kenaikan tingkat kelembaban. Penyimpangan hasil pengukuran yang terjadi pada rentang waktu ini diakibatkan oleh terjadinya reaksi-reaksi kimia sebagai berikut.



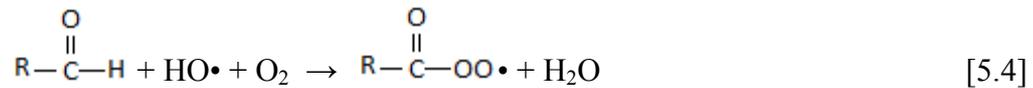
Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa terjadi peningkatan tingkat kelembaban pada rentang waktu tersebut, dimana peningkatan kelembaban tersebut berakibat pada meningkatnya jumlah butir-butir air yang terdapat di udara. Atom oksigen yang ada di udara kemudian bereaksi dengan titik-titik air dan menghasilkan produk berupa radikal hidroksil ($\text{HO}\cdot$). Produk $\text{HO}\cdot$ yang dihasilkan ini kemudian bereaksi dengan gas oksigen yang terdapat di udara serta gas karbon monoksida yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna pada kendaraan bermotor sesuai dengan persamaan reaksi sebagai berikut.



Radikal hidroperoksil ($\text{HOO}\cdot$) yang dihasilkan dari reaksi tersebut kemudian bereaksi dengan gas Nitrogen Oksida (NO) yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor membentuk radikal hidroksil dan NO_2 , sebagaimana yang terjadi pada reaksi berikut.



Gugus radikal hidroksil (HO•) kemudian bereaksi dengan senyawa karbonil berupa aldehyd, sama seperti yang terjadi pada reaksi [5.4] pada uraian sebelumnya.



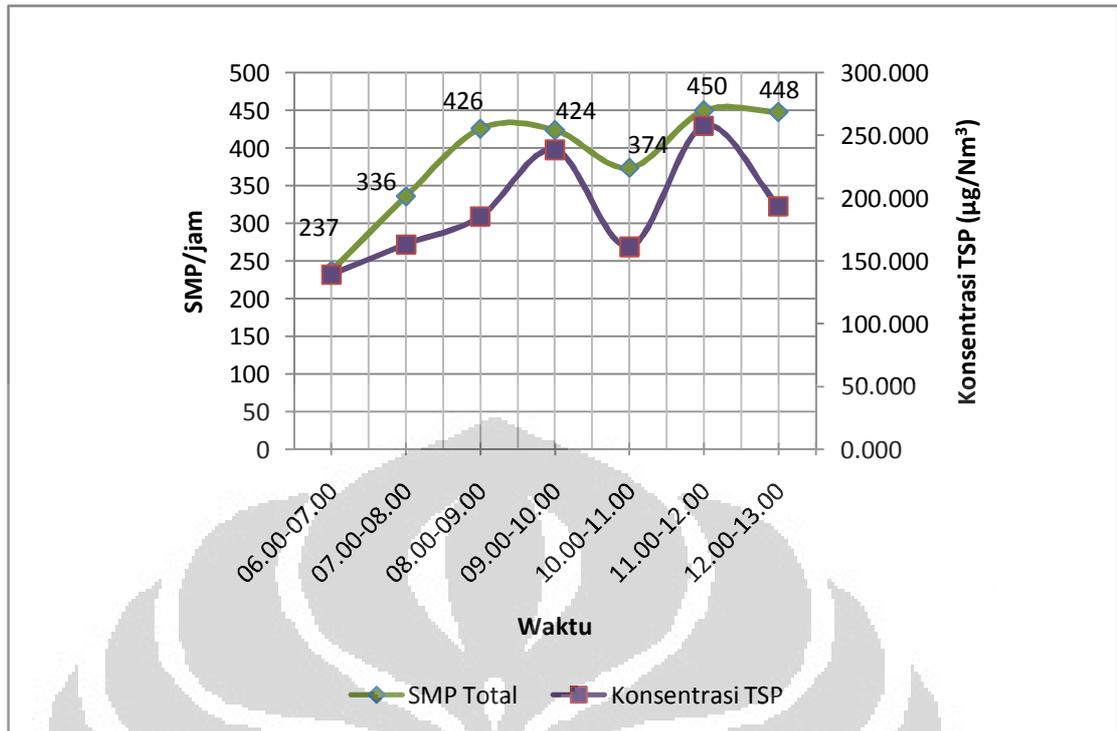
Kemudian gugus $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OO}\cdot$ yang dihasilkan pada reaksi di atas akan bereaksi dengan senyawa NO_2 yang dihasilkan dari hasil reaksi oksidasi NO oleh $\text{HOO}\cdot$ sesuai reaksi [5.8] sesuai persamaan reaksi yang sama seperti yang terjadi pada persamaan reaksi [5.5].



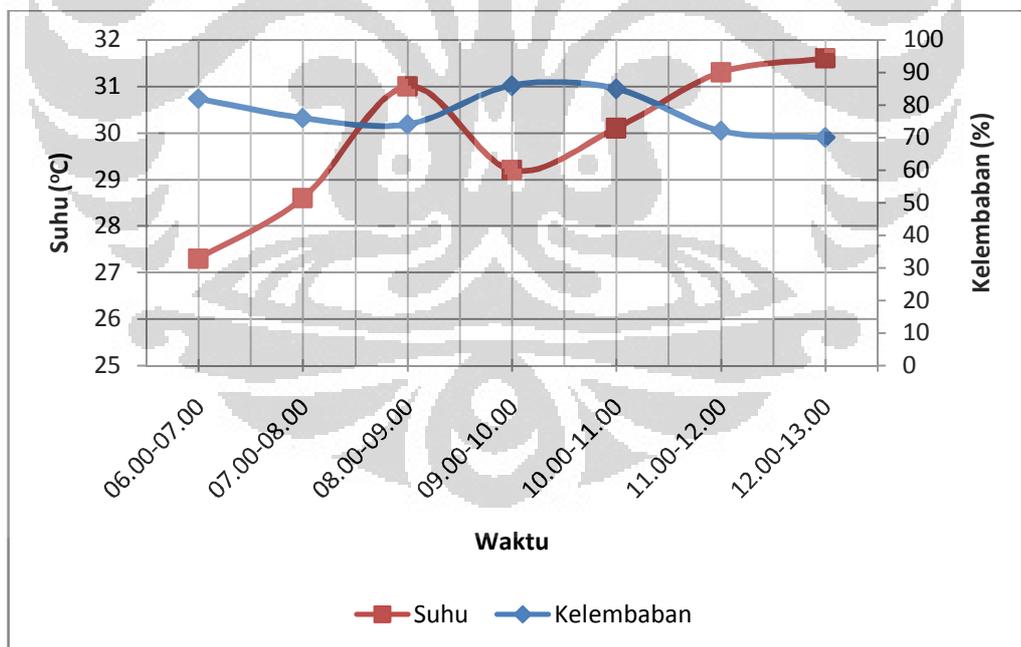
Jika gugus R tersebut merupakan methyl group, maka produk yang dihasilkan dari reaksi tersebut adalah Peroxy Acetyl Nitrate (PAN) yang berbentuk padatan yang merupakan partikulat sekunder. Partikulat sekunder ini lah yang kemudian menyebabkan peningkatan konsentrasi TSP yang terukur pada rentang waktu data pukul 11.00-12.00 hingga data pukul 12.00-13.00.

Selasa, 18 Januari 2011

Berikut merupakan grafik fluktuasi volume kendaraan dan konsentrasi TSP serta grafik fluktuasi data suhu dan kelembaban yang didapat dari lapangan.



Gambar 5.15 Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP Selasa, 18 Januari 2011



Gambar 5.16 Grafik Fluktuasi Data Suhu dan Kelembaban Selasa, 18 Januari 2011

Dari gambar 5.21, dapat dilihat bahwa penyimpangan atau korelasi negatif antara volume kendaraan dengan konsentrasi TSP yang terukur hanya terjadi pada

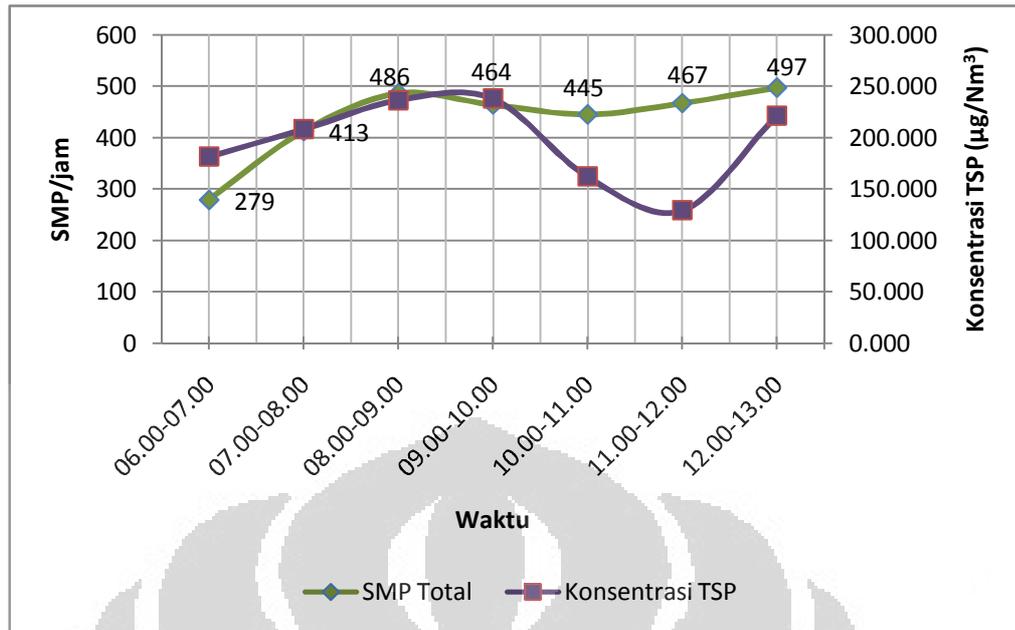
data pukul 08.00-09.00 hingga data pukul 09.00-10.00, dimana volume kendaraannya turun, namun terjadi peningkatan pada konsentrasi TSP. Data suhu pada rentang waktu tersebut menunjukkan adanya penurunan yang disertai dengan adanya peningkatan kelembaban. Penyimpangan yang terjadi di sini sama dengan penyimpangan yang terjadi pada data fluktuasi konsentrasi TSP pada pukul 11.00-12.00 hingga pukul 12.00-13.00 yang terjadi pada hari pengukuran Minggu, 27 Februari 2011. Adanya tingkat kelembaban yang tinggi memicu reaksi pembentukan radikal hidroksil sesuai dengan reaksi [5.6], dimana atom oksigen yang terdapat di udara bereaksi dengan butir-butir air.



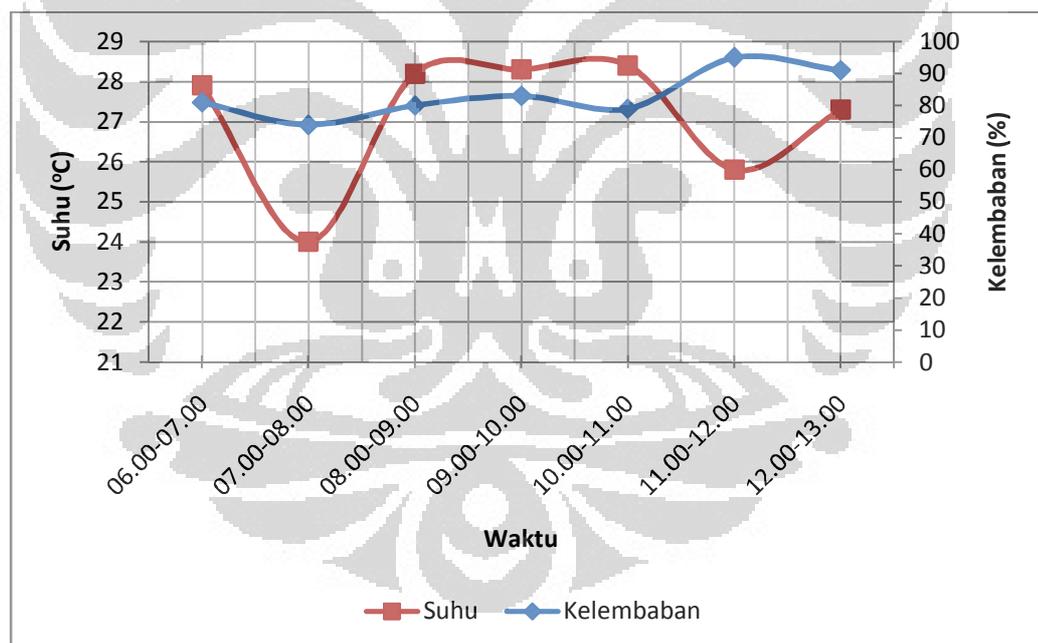
Proses yang terjadi sama seperti yang telah diuraikan pada penyimpangan data pukul 11.00-12.00 hingga data pukul 12.00-13.00 pada Minggu, 27 Februari 2011, dimana terjadi reaksi [5.7],[5.8], [5.4], dan [5.5]. Reaksi-reaksi tersebut kemudian menghasilkan produk akhir berupa Peroxy Acetyl Nitrate (PAN) yang merupakan partikulat sekunder, dimana partikulat sekunder tersebut menyebabkan peningkatan konsentrasi TSP yang terukur.

Sabtu, 15 Januari 2011

Berikut merupakan grafik fluktuasi volume kendaraan dan konsentrasi TSP serta grafik fluktuasi data suhu dan kelembaban yang didapat dari lapangan.



Gambar 5.17 Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP Sabtu, 15 Januari 2011



Gambar 5.18 Grafik Fluktuasi Suhu dan Kelembaban Sabtu, 15 Januari 2011

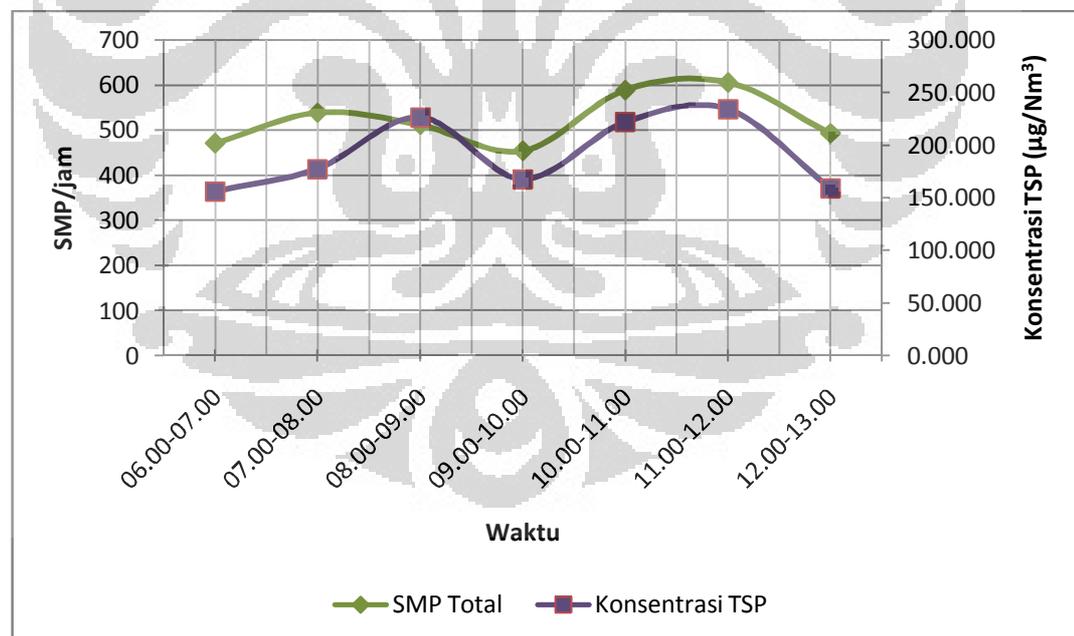
Pada gambar 5.23 dapat dilihat bahwa penyimpangan terjadi pada data konsentrasi TSP pukul 10.00-11.00 menuju data pukul 11.00-12.00, dimana konsentrasi TSP mengalami penurunan, namun volume kendaraan mengalami kenaikan. Dari grafik fluktuasi suhu dan kelembaban, diketahui bahwa data kelembaban pada pukul 10.00-11.00 mengalami kenaikan pada pukul 11.00-12.00

yang disertai dengan penurunan suhu. Hal ini menandakan bahwa terdapat peningkatan jumlah butir-butir air yang terdapat di atmosfer, dimana butir-butir air tersebut memiliki kemungkinan untuk menyerap partikel-partikel yang diemisikan kendaraan bermotor ke udara, sehingga konsentrasi TSP yang terukur pada rentang waktu tersebut mengalami penurunan, meskipun terdapat peningkatan volume kendaraan.

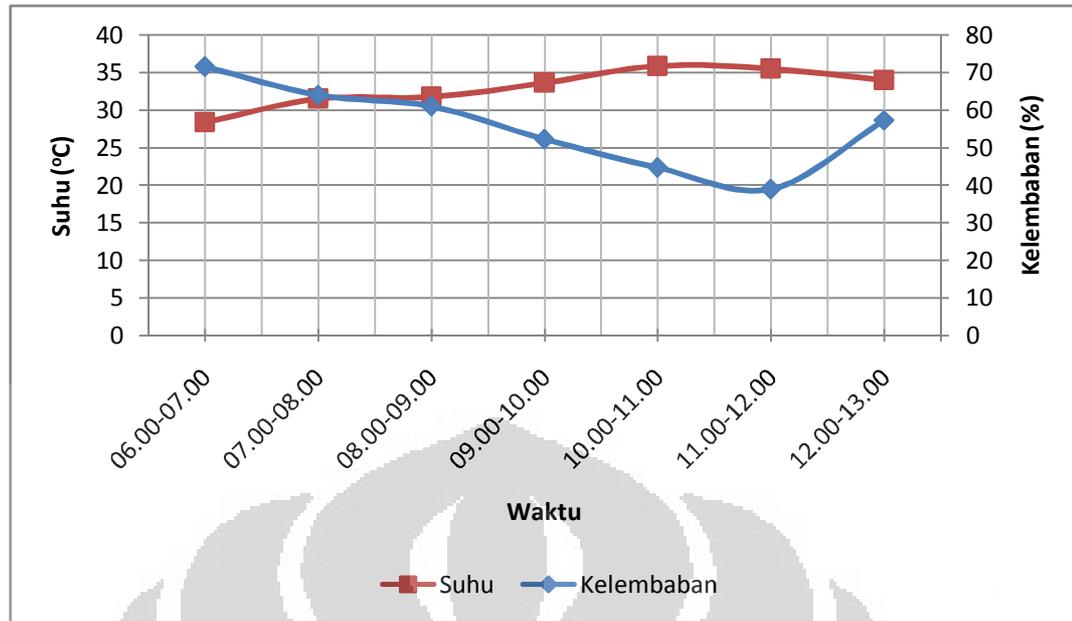
Pada data pukul 11.00-12.00 hingga pukul 12.00-13.00, konsentrasi TSP mengalami peningkatan yang cukup signifikan, namun tidak diimbangi dengan peningkatan volume kendaraan yang sesuai. Dengan melihat data fluktuasi suhu yang menunjukkan peningkatan nilai pada rentang waktu tersebut, maka diperkirakan penyimpangan tersebut terjadi akibat adanya reaksi fotokimia yang telah dijelaskan sebelumnya.

Rabu, 23 Februari 2011

Berikut merupakan grafik fluktuasi volume kendaraan dan konsentrasi TSP serta grafik fluktuasi data suhu dan kelembaban yang didapat dari lapangan.



Gambar 5.19 Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP, Rabu, 23 Februari 2011

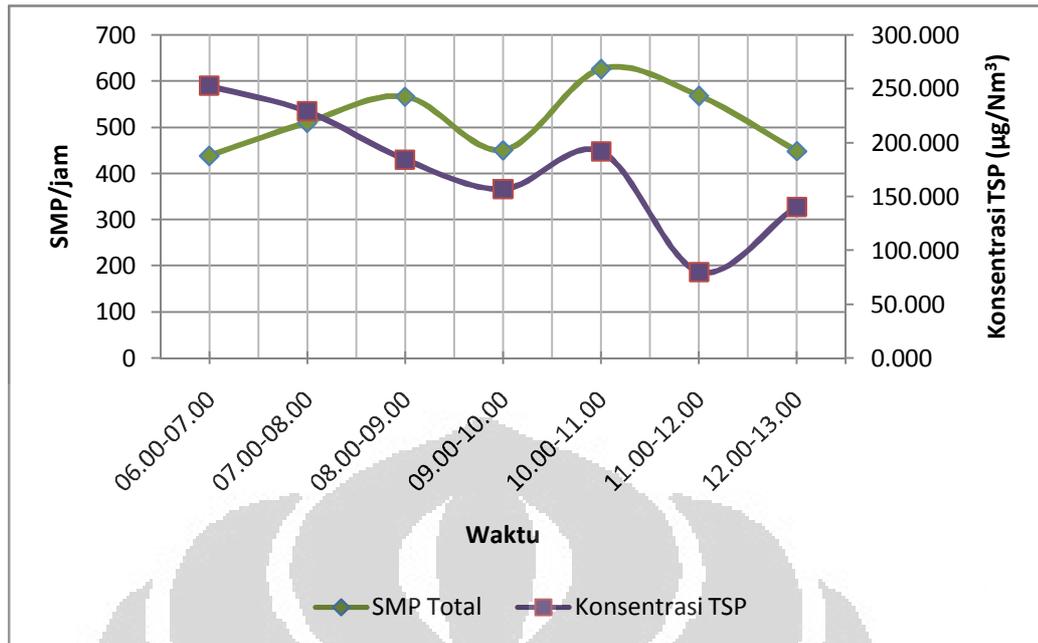


Gambar 5.20 Grafik Fluktuasi Suhu dan Kelembaban, Rabu, 23 Februari 2011

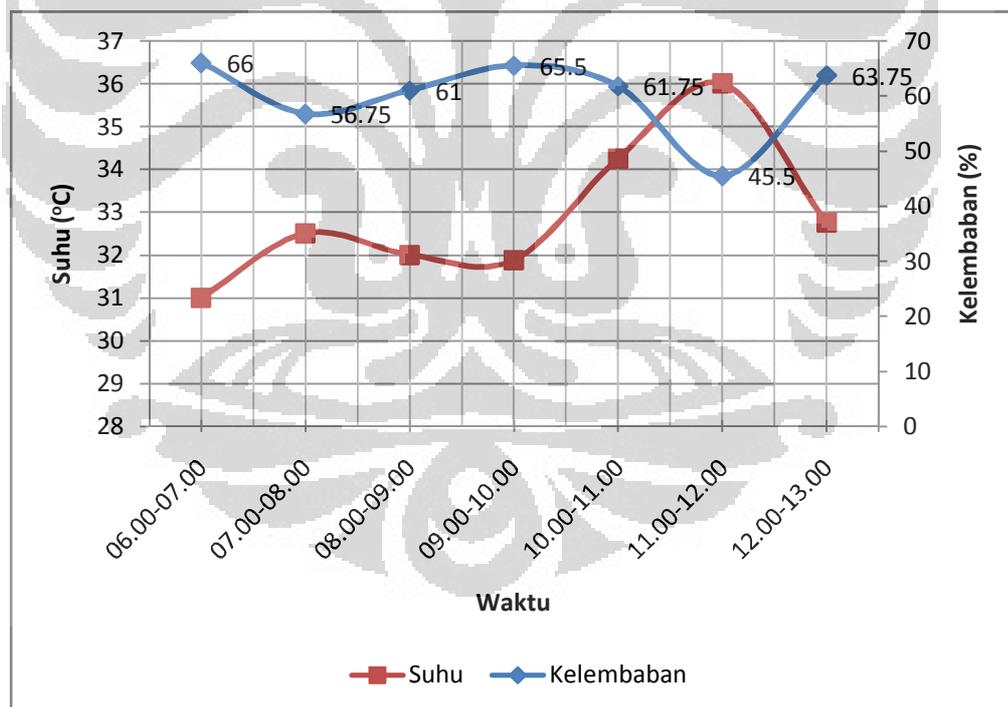
Dari gambar 5.25, terlihat bahwa penyimpangan hanya terjadi pada data pukul 07.00-08.00 hingga data pukul 08.00-09.00, dimana terjadi penurunan volume kendaraan total, namun konsentrasi TSP nya meningkat. Dari grafik fluktuasi suhu dan kelembaban, diketahui terjadi peningkatan suhu dari data pukul 07.00-08.00 ke data pukul 08.00-09.00. Dengan berdasarkan pada keterangan tersebut, peristiwa yang dapat menjelaskan penyimpangan hasil pengukuran pada rentang waktu ini adalah fenomena reaksi fotokimia seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Sabtu, 26 Februari 2011

Berikut merupakan grafik fluktuasi volume kendaraan dan konsentrasi TSP serta grafik fluktuasi data suhu dan kelembaban yang didapat dari lapangan.



Gambar 5.21 Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP, Sabtu, 26 Februari 2011



Gambar 5.22 Grafik Fluktuasi Suhu dan Kelembaban Sabtu, 26 Februari 2011

Dari gambar 5.27 dapat dilihat bahwa penyimpangan hasil pengukuran terjadi pada data pukul 06.00-07.00 hingga data pukul 07.00-08.00, dimana volume kendaraan meningkat dan konsentrasi menurun, lalu suhunya naik, dan

kelembabannya turun. Besarnya tingkat kelembaban memang mengalami penurunan seiring dengan kenaikan suhu yang terjadi, namun karena rentang waktu tersebut tergolong masih terpengaruh oleh kondisi atmosfer pagi hari, besar nilai kelembabannya masih berada pada tingkat yang cukup tinggi, yaitu antara 56,75 % sampai 66 %, sehingga kandungan air yang terkandung dalam udara masih cukup besar. Butir-butir udara yang terdapat di udara tersebut kemudian menangkap partikulat yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor, sehingga besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur tidak sesuai dengan banyaknya volume kendaraan yang ada.

Pada data pukul 07.00-08.00 hingga data pukul 08.00-09.00, volume kendaraan meningkat, namun konsentrasi TSP nya menurun. Hal ini juga disebabkan karena adanya peningkatan tingkat kelembaban di atmosfer, dimana partikulat yang dihasilkan kendaraan bermotor terserap oleh butir-butir air dan tidak terukur, sehingga konsentrasi TSP yang dihasilkan juga menjadi tidak sesuai dengan jumlah volume kendaraan yang ada.

Selain itu, penyimpangan juga terjadi pada data pukul 11.00-12.00 hingga data pukul 12.00-13.00, dimana volume kendaraan turun, namun terdapat peningkatan pada konsentrasi TSP nya. Dari data suhu dan kelembaban, diketahui besarnya nilai suhu pada rentang waktu tersebut mengalami penurunan dan disertai dengan peningkatan kelembaban. Penyimpangan hasil pengukuran yang terjadi pada rentang waktu ini disebabkan karena adanya reaksi-reaksi kimia yang terjadi.

Adanya tingkat kelembaban yang tinggi memicu reaksi pembentukan radikal hidroksil sesuai dengan reaksi [5.6], dimana atom oksigen yang terdapat di udara bereaksi dengan butir-butir air.



Dalam hal ini, proses-proses yang terjadi sama seperti yang telah diuraikan pada penyimpangan data pukul 11.00-12.00 hingga data pukul 12.00-13.00 pada Minggu, 27 Februari 2011, dimana terjadi reaksi [5.7],[5.8], [5.4], dan [5.5]. Reaksi-reaksi tersebut kemudian menghasilkan produk akhir berupa Peroxy Acetyl Nitrate (PAN) yang merupakan partikulat sekunder, dimana partikulat

sekunder tersebut menyebabkan konsentrasi TSP yang terukur mengalami peningkatan, tetapi terjadi penurunan pada tingkat volume kendaraannya.

5.7. Hasil Perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara untuk Parameter TSP Pada Pintu Tol Cililitan 2

Kondisi kualitas udara di pintu tol Cililitan 2 akibat zat pencemar berupa TSP dan bagaimana pengaruhnya dapat ditentukan melalui perhitungan nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu, yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika, dan makhluk hidup lainnya. Nilai ISPU dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$I = I_a - \left(\frac{X_a - X_x}{X_a - X_b} \times (I_a - I_b) \right) \quad (5.7)$$

Dengan keterangan:

I = ISPU terhitung

I_a = ISPU batas atas

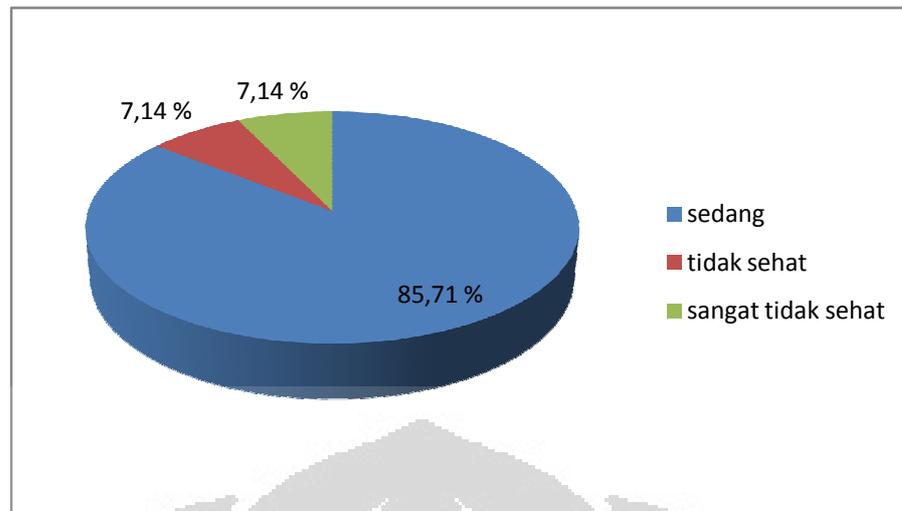
I_b = ISPU batas bawah

X_a = konsentrasi ambien batas atas

X_b = konsentrasi ambien batas bawah

X_x = konsentrasi ambien hasil pengukuran

Proses perhitungan nilai ISPU untuk tiap nilai konsentrasi TSP yang terukur dapat dilihat pada lampiran 9. Berikut merupakan diagram lingkaran yang menggambarkan persentase kategori kualitas udara berdasarkan hasil perhitungan nilai ISPU yang telah dilakukan.



Gambar 5.23 Persentase Kategori Kualitas Udara Berdasarkan nilai ISPU untuk Parameter TSP Pada Pintu tol Cililitan 2

Sumber Perhitungan: Lampiran 9

Tabel 5.14 Kategori ISPU Untuk TSP Terhadap Efek Kesehatan Masyarakat

Kategori	Rentang	Efek terhadap kesehatan
Baik	0 – 50	Tidak ada efek
Sedang	51 – 100	Terjadi penurunan pada jarak pandang
Tidak sehat	101 – 199	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran debu dimana-mana
Sangat tidak sehat	200 – 299	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronchitis
Berbahaya	300 atau lebih	Tingkat berbahaya bagi semua populasi yang terpapar.

Sumber: Keputusan Kepala Bapedal No.107 Tahun 1997 tentang perhitungan dan pelaporan ISPU

Dari gambar diagram lingkaran di atas, dapat dilihat bahwa mayoritas mutu udara ambien berada pada **kategori kualitas sedang**, yaitu sebesar 85,71 % dari total pengukuran, dimana kondisi tersebut dapat berdampak pada terjadinya penurunan jarak pandang. Namun, terdapat beberapa data yang menunjukkan kondisi:

1. Tidak sehat, sebesar 7,14 % dari total hasil pengukuran, yang dapat menyebabkan dampak berupa terjadinya penurunan jarak pandang dan terjadinya pengotoran debu dimana-mana, dan;
2. Sangat tidak sehat, sebesar 7,14 % dari total hasil pengukuran yang berefek pada meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronchitis.

5.8. Perhitungan Tingkat Resiko Pemaparan TSP terhadap Petugas Pintu Tol

Besarnya tingkat resiko pemaparan TSP dinyatakan sebagai Risk Quotient (RQ). Nilai tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Risk\ Quotient\ (RQ) = \frac{I}{RfC} \quad (5.8)$$

Dimana, I adalah asupan inhalasi (mg/kg/hari) dan RfC adalah dosis referensi (mg/kg/hari), dimana dosis referensi untuk parameter TSP adalah sebesar 2,42 mg/kg/hari.

Nilai asupan inhalasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \quad (5.9)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

- I = asupan inhalasi (mg TSP/kg berat badan individu/hari)
- C = konsentrasi TSP di udara (mg/m³)
- R = laju inhalasi (m³/jam)
- T_E = lama pajanan (jam/hari)
- F_E = frekuensi pajanan (hari/tahun)
- D_t = durasi pajanan (tahun)
- W_b = berat badan individu (kg)
- T_{avg} = periode waktu rata-rata (30 tahun x 365 hari/tahun untuk non karsinogenik)

Dari data yang didapat dari pengukuran lapangan, diketahui nilai rata-rata konsentrasi TSP untuk seluruh hasil pengukuran (C) adalah sebesar 206,047 µg/Nm³, dengan informasi parameter lain sebagai berikut:

1. Lamanya waktu kerja per shift (T_E) untuk petugas pintu tol adalah 8 jam/hari
Informasi ini didapat dari hasil pengumpulan informasi di lapangan.
2. Frekuensi pajanan (F_E) = 5 hari/minggu x 48 minggu/ tahun
= 240 hari/tahun

Informasi ini juga didapat dari hasil pengumpulan informasi di lapangan.

3. Besarnya laju inhalasi (R) menggunakan laju inhalasi standar yang diperoleh dari “*Exposure Factors Handbook*” (US EPA, 1990), yaitu sebesar 0,83 m³/jam.

Dikarenakan tiap petugas pintu tol memiliki berat badan dan durasi pajanan yang bervariasi, maka perhitungan nilai RQ juga akan dilakukan untuk berbagai macam variasi berat badan dan durasi pajanan. Rentang variasi berat badan yang digunakan antara 40 kg sampai 80 kg, sedangkan variasi durasi pajanan yang digunakan antara 5 tahun hingga 40 tahun. Rentang variasi berat badan dan durasi pajanan ditetapkan atas dasar pengamatan di lapangan. Dari data-data tersebut, dilakukan perhitungan nilai RQ dengan menggunakan persamaan (5.8) dengan hasil perhitungan sebagai berikut.

Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Nilai RQ untuk Berbagai Variasi Berat Badan dan Durasi Pajanan

Berat (kg)	Durasi Pajanan (Tahun)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
40	0.0015	0.0031	0.0046	0.0062	0.0077	0.0093	0.0108	0.0124
45	0.0014	0.0028	0.0041	0.0055	0.0069	0.0083	0.0096	0.0110
50	0.0012	0.0025	0.0037	0.0050	0.0062	0.0074	0.0087	0.0099
55	0.0011	0.0023	0.0034	0.0045	0.0056	0.0068	0.0079	0.0090
60	0.0010	0.0021	0.0031	0.0041	0.0052	0.0062	0.0072	0.0083
65	0.0010	0.0019	0.0029	0.0038	0.0048	0.0057	0.0067	0.0076
70	0.0009	0.0018	0.0027	0.0035	0.0044	0.0053	0.0062	0.0071
75	0.0008	0.0017	0.0025	0.0033	0.0041	0.0050	0.0058	0.0066
80	0.0008	0.0015	0.0023	0.0031	0.0039	0.0046	0.0054	0.0062

Dari tabel hasil perhitungan tersebut, didapat semua hasil perhitungan nilai RQ terhitung lebih kecil dari 1 untuk semua variasi berat badan dan durasi pajanan, hal tersebut menunjukkan bahwa para petugas pintu tol masih berada dalam tingkat resiko yang cukup aman akibat pemaparan polutan berupa *Total Suspended Particulate* yang dihasilkan dari kendaraan bermotor yang melintas. Namun, pada kenyataannya resiko pajanan yang diterima oleh petugas pintu tol tidak hanya berasal dari *Total Suspended Particulate*. Masih terdapat polutan-polutan lain yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor yang juga memiliki potensi resiko terhadap kondisi kesehatan para petugas gardu, seperti NO_x, SO_x, Pb, HC, dan lain sebagainya. Dalam hal ini, penentuan kebutuhan pengendalian tingkat

resiko di sekitar pintu tol juga harus mempertimbangkan resiko-resiko yang ditimbulkan dari polutan-polutan tersebut, sehingga diperoleh nilai tingkat resiko total yang menggambarkan tingkat resiko pemajanan yang dialami oleh petugas pintu tol secara keseluruhan. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian berupa pengukuran terhadap konsentrasi polutan-polutan lain yang terdapat di pintu tol untuk menentukan apakah tingkat resiko total yang dialami petugas pintu tol membutuhkan suatu pengendalian atau tidak.

5.9. Uji Laboratorium Kadar Logam Pb pada Filter HVAS

Pada penelitian ini, terdapat empat buah sampel filter HVAS yang diuji kadar Pb nya. Sampel filter yang digunakan untuk uji AAS ditentukan berdasarkan konsentrasi TSP tertinggi pada hasil pengukuran dalam satu hari. Berikut merupakan hasil uji kadar Pb dalam filter HVAS yang dilakukan dengan metode AAS.

Tabel 5.16 Data Hasil Uji Kadar Pb dalam Filter

No	Hari Pengukuran	Waktu	Konsentrasi TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Konsentrasi Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Sabtu, 26 Februari 2011	06.00-07.00	252,504	0,108
2	Rabu, 23 Februari 2011	11.00-12.00	234,178	0,012
3	Sabtu, 26 Februari 2011	07.00-08.00	228,751	0,097
4	Rabu, 23 Februari 2011	08.00-09.00	226,523	0,004

Dari keempat hasil pengukuran tersebut, dapat ditentukan nilai rata-rata konsentrasi Pb nya sebesar $0,055 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Berdasarkan standar baku mutu udara ambien yang tercantum pada PP No.41 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara, diketahui batas maksimum kandungan Pb yang diizinkan yang terkandung di udara adalah sebesar $2 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk waktu pengukuran 24 jam. Untuk dapat membandingkan nilai konsentrasi Pb hasil pengukuran dengan nilai baku mutu udara yang berlaku, besarnya nilai konsentrasi Pb tersebut harus dikonversi terlebih dahulu agar didapat nilai estimasi konsentrasi Pb yang setara dengan waktu pengukuran 24 jam. Sama halnya dengan konversi konsentrasi TSP,

konversi konsentrasi Pb juga dilakukan dengan menggunakan persamaan (5.3), sehingga dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$C_1 = C_2 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^p$$

$$= 0,055 \mu\text{g}/\text{Nm}^3 \left(\frac{1 \text{ jam}}{24 \text{ jam}} \right)^{0,17} = 0,0320 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$$

Dari perhitungan tersebut, diketahui besarnya nilai konsentrasi Pb hasil konversi adalah $0,0320 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sedangkan baku mutu udara untuk konsentrasi Pb sebesar $2 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Dengan membandingkan kedua nilai tersebut, dapat dikatakan besarnya konsentrasi Pb yang terukur masih berada pada tingkat yang lebih rendah dibandingkan dengan batas maksimum yang diperbolehkan.

Dari penelitian sebelumnya (Kondo *et.al*, 2007), diketahui besarnya nilai konsentrasi Pb di udara ambien pada tahun 2000 di wilayah Jakarta adalah sebesar $0,89 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan kemudian menurun hingga $0,13 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ pada tahun 2003. Pada penelitian tersebut juga dilakukan uji kadar timbal yang terkandung dalam bensin pada sampel bensin yang diambil di SPBU Jakarta. Berikut merupakan tabel hasil analisis sampel bensin yang di ambil di SPBU Jakarta yang dilaporkan pada hasil penelitian Kondo dan kawan-kawan (2007).

Tabel 5.17 Hasil Analisis Sampel Bensin di SPBU Jakarta

Tipe	Konsumsi Bensin (kL/tahun) *	Kadar Pb dalam bensin Sebelum Juli 2001**	Kadar Pb dalam bensin Setelah Juli 2001***
Super TT	20.680	0,005	0,012
Premix	71.880	0,15	0,016
Premium	445.049	0,15	0,016

Sumber:

* Pertamina, UPPDN DKI Jakarta, 2000 dalam Kondo *et.al* 2007

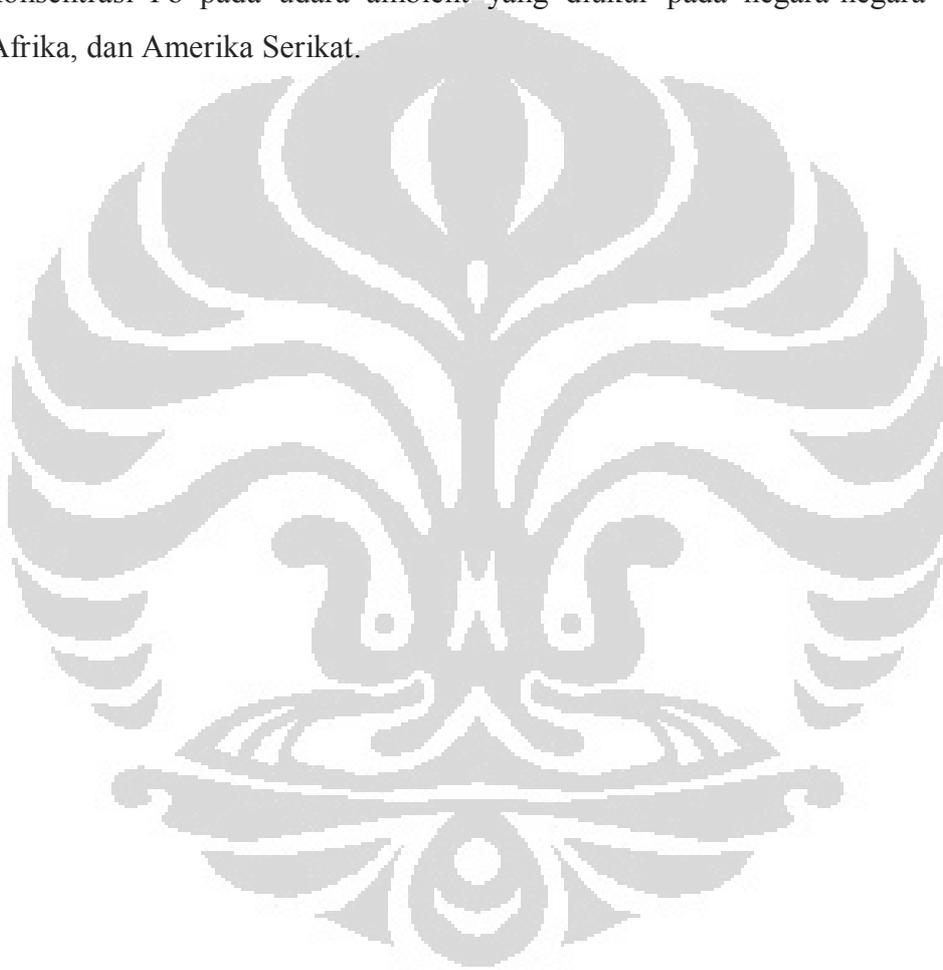
** Surat Keputusan Dirjen Migas, Departemen ESDM, 1997 dalam Kondo *et.al* 2007

*** Analisis terhadap sampel bensin tahun 2002 dalam Kondo *et.al* 2007

Program bensin bebas timbal mulai diterapkan di Indonesia sejak tahun 2000. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa masih terdapat kandungan timbal pada bensin setelah bulan Juli 2001, baik pada tipe super TT, premix, maupun premium, namun dengan jumlah yang jauh lebih sedikit.

Besarnya nilai konsentrasi Pb yang didapat dari hasil uji timbal dengan menggunakan metode AAS yang dilakukan pada filter fiber glass HVAS hasil pengukuran lapangan adalah sebesar $0,055 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Nilai tersebut berada pada tingkat yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi timbal yang didapat pada tahun 2003, yaitu sebesar $0,13 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Dari hasil penelitian lain (Nriagu *et.al.*,1996), didapat data variasi konsentrasi timbal hasil pengukuran di berbagai negara. Berikut merupakan konsentrasi Pb pada udara ambient yang diukur pada negara-negara di Asia, Afrika, dan Amerika Serikat.



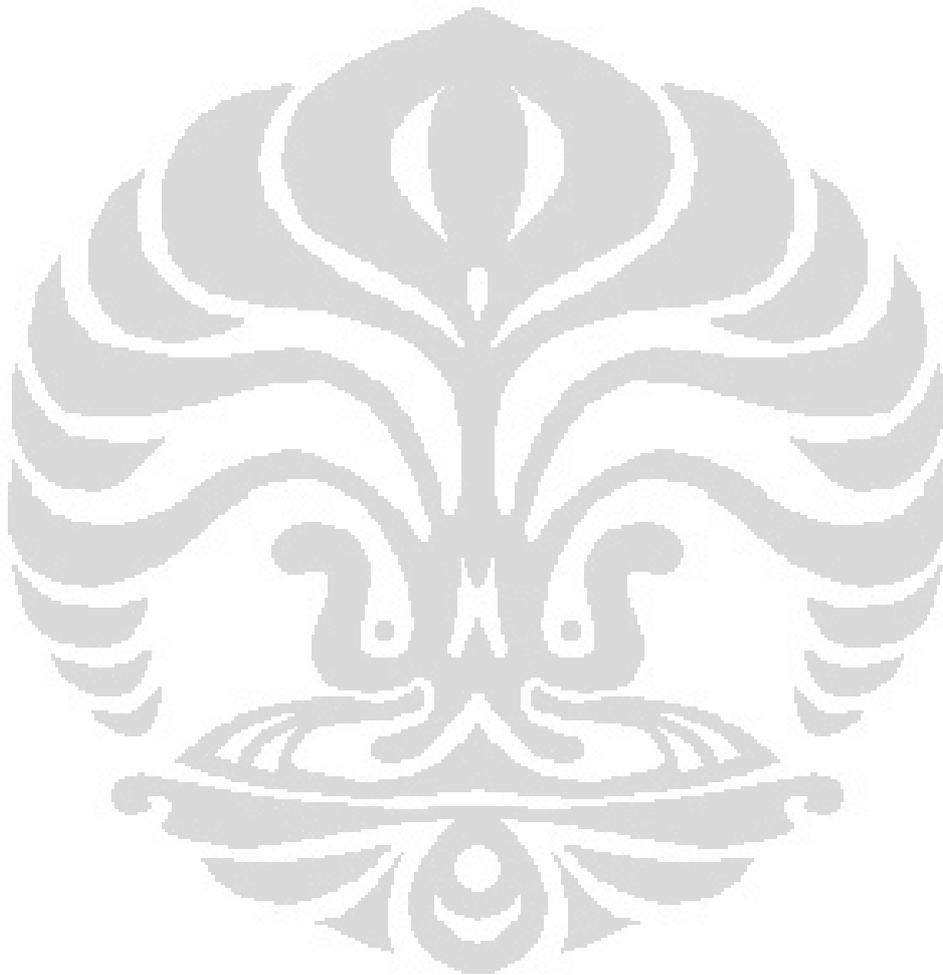
Tabel 5.18 Konsentrasi Pb pada Udara Ambient di Asia, Afrika, dan AS

Negara	Kota	Konsentras Pb ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Kandungan Pb pada bensin (g/L)	Tahun	Sumber
AS	Missouri	0,093	N/A	1982	Sheets,1997
Finlandia	Helsinki	0,007	0	1996	Pönkö,1998
Bangladesh	Dhaka	0,279	N/A	2008	Al Mahmud, Tanzir, et.al.,2008
India	Bombay	0,2-1,1	N/A	1988	Tripathi, et.al, 1988
	Moradabad	0,3-6,52	N/A	1988	Tripathi, et.al, 1988
	Mumbai	0,204	N/A	1996	Amit K. & Munendra Singh, 2006
Taiwan	Taipei	<0,3	0,15 (1988)	1990	Hwang and wang, 1990
Saudi Arabia	Jeddah	0,53-1,3	N/A	1987	Abulfaraj, et.al.,1990
Singapura	Singapura	0,92	N/A	1986/87	Ang, et.al.,1988
Cina		0,1-1,5	0,162	1986	Mukai, et.al., 1993
Jepang	Tokyo	0,05-0,1	0	1977/85	Mukai, et.al., 1993
Thailand		0,19-0,66	0,45	1984/87	Mukai, et.al., 1993
Indonesia	Jakarta	1,7-3,59	0,84	1987	Tri Tugaswati, et.al., 1987
Meksiko	Mexico city	2,5	1,0	1978	Albert and Badello, 1991
	Mexico city	3-14	0,603	1987	Albert and Badello, 1991
Nigeria	Lagos	0,5	N/A	1991	Nriagu, et.al.,1996
Mesir	Kairo	0,6-1,8	N/A	1982	Nriagu, et.al.,1996
Afrika Selatan	Durban	0,78	0,4	1995	Nriagu, et.al.,1996

Keterangan : N/A : informasi tidak tersedia

Sumber: Nriagu *et.al.*,1996

Dari tabel di atas, dapat dilihat konsentrasi timbal yang terukur pada tahun 1987 di wilayah Jakarta masih berada pada tingkat yang cukup tinggi, yaitu antara 1,7 sampai 3,59 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi Pb hasil pengukuran saat ini, tahun 2011.



BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari semua uraian dan pembahasan yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kualitas udara di sekitar pintu tol secara umum masih memenuhi baku mutu udara ambien sesuai PP No.41 Tahun 1999 dilihat dari besarnya nilai konsentrasi parameter TSP dan timbal, namun terdapat dua buah hasil pengukuran konsentrasi TSP yang nilainya melebihi baku mutu udara, yaitu hasil pengukuran pada hari Rabu, 12 Januari 2011 pada rentang waktu pukul 11.00-12.00 dan pukul 12.00-13.00.
2. Kejadian antrean pada pintu tol meningkatkan besarnya nilai konsentrasi TSP udara ambien yang terukur.
3. Hasil perhitungan faktor kontribusi SMP terhadap konsentrasi TSP pada udara ambien untuk kendaraan berbahan bakar bensin adalah sebesar $0,131 \mu\text{g}/\text{Nm}^3 / \text{SMP}$, yang berarti tiap satu Satuan Mobil Penumpang untuk kendaraan berbahan bakar bensin akan menyumbang konsentrasi TSP di udara ambien sebesar $0,131 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Sedangkan faktor kontribusi SMP terhadap konsentrasi TSP pada udara ambien untuk kendaraan berbahan bakar solar adalah sebesar $0,369 \mu\text{g}/\text{Nm}^3 / \text{SMP}$, dimana tiap satu Satuan Mobil Penumpang untuk kendaraan berbahan bakar solar akan menyumbang konsentrasi TSP di udara ambien sebesar $0,369 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.
4. Jenis kendaraan yang paling mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur pada udara ambien di sekitar pintu tol Cililitan 2 adalah jenis kendaraan golongan II, yaitu truk dengan dua gandar.
5. Volume kendaraan total yang melintas di pintu tol memiliki tingkat pengaruh yang lemah terhadap konsentrasi TSP yang terukur di udara ambien di sekitar pintu tol, dengan nilai R sebesar 0,351 dan nilai R^2 sebesar 0,123. Nilai R^2 sebesar 0,123 memiliki makna bahwa 12,3 % dari konsentrasi TSP yang terukur dipengaruhi oleh volume kendaraan total, sedangkan sisanya 87,7 % konsentrasi TSP dipengaruhi oleh faktor-faktor lainnya, seperti pembentukan

partikulat sekunder dan pengaruh faktor meteorologis berupa perubahan tingkat kelembaban dan suhu. Perubahan tingkat suhu dan kelembaban tersebut yang kemudian menyebabkan terjadinya reaksi-reaksi fisik dan kimia di udara yang mempengaruhi hasil pengukuran TSP yang dilakukan.

6. Berdasarkan hasil perhitungan nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), diketahui bahwa 85,71 % dari total hasil pengukuran konsentrasi TSP yang dilakukan di pintu tol Cililitan 2 menunjukkan kategori kualitas udara sedang, 7,14 % dari total hasil pengukuran menunjukkan kategori tidak sehat, dan 7,14 % lainnya menunjukkan kategori sangat tidak sehat.
7. Hasil perhitungan nilai *Risk Quotient* (RQ) menunjukkan para petugas pintu tol masih berada dalam tingkat resiko yang cukup aman akibat pemaparan polutan berupa *Total Suspended Particulate* (TSP) yang dihasilkan dari kendaraan bermotor yang melintas. Namun, pada kenyataannya resiko pajanan yang diterima oleh petugas pintu tol tidak hanya berasal dari *Total Suspended Particulate* (TSP). Masih terdapat polutan-polutan lain yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor yang juga memiliki potensi resiko terhadap kondisi kesehatan para petugas gardu, seperti NO_x , SO_x , Pb, HC, dan lain sebagainya. Penentuan kebutuhan pengendalian tingkat resiko di sekitar pintu tol juga harus mempertimbangkan resiko-resiko yang ditimbulkan dari polutan-polutan tersebut, sehingga diperoleh nilai tingkat resiko total yang menggambarkan tingkat resiko pemajanan yang dialami oleh petugas pintu tol secara keseluruhan.

6.2. Saran

Terjadinya pencemaran udara merupakan suatu konsekuensi dari dilakukannya kegiatan transportasi dengan menggunakan kendaraan bermotor berbahan bakar fosil. Meskipun pencemaran udara yang terjadi masih berada pada tingkat yang aman, tidak ada salahnya untuk melakukan pengurangan pencemaran yang terjadi guna menghasilkan suatu kualitas udara yang lebih baik. Kegiatan transportasi merupakan suatu kebutuhan sekaligus juga merupakan penyebab terjadinya pencemaran udara yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia maupun makhluk hidup lain. Sebagai suatu kebutuhan, kegiatan transportasi tidak

bisa begitu saja dihentikan untuk mengatasi permasalahan pencemaran udara yang terjadi. Hal yang bisa dilakukan untuk mengatasi hal tersebut adalah melalui cara pengendalian dan pengaturan kegiatan transportasi. Usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak pencemaran udara yang terjadi, yaitu:

- a. Penerapan *job rotation* kepada para petugas pintu tol, sehingga petugas pintu tol tidak terus-menerus terpajan oleh zat polutan yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. *Job rotation* dilakukan pada karyawan non-pintu tol dengan karyawan pintu tol, sehingga cara ini juga berfungsi untuk mengurangi waktu pajanan terhadap polutan yang dialami oleh petugas pintu tol.
- b. Sebagai usaha jangka panjang, dilakukan perintisan penggunaan Gardu Tol Otomatis pada semua gerbang tol, dimana transaksi yang dilakukan di pintu tol tidak dilakukan oleh manusia, melainkan oleh mesin otomatis. Sumber daya manusia dialihkan pada bidang atau pekerjaan-pekerjaan yang jauh lebih tidak memiliki resiko terpajan zat polutan kendaraan bermotor yang dapat mempengaruhi kesehatan.
- c. Dari hasil penelitian diketahui bahwa truk-truk dengan dua gandar merupakan jenis kendaraan yang paling mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi TSP yang terukur, oleh sebab itu pengendalian pencemaran udara yang terjadi dapat dilakukan dengan mengendalikan lalu lintas jenis kendaraan tersebut. Kebijakan tentang manajemen lalu lintas truk yang hanya boleh melintasi jalan tol antara pukul 22.00-05.00 dapat digunakan untuk melakukan pengendalian yang diinginkan. Pada malam hari, tidak terdapat sinar matahari, sehingga tidak akan terjadi reaksi fotokimia yang dapat membentuk partikulat sekunder, selain itu kelembaban di malam hari lebih tinggi dibandingkan dengan siang hari, sehingga partikulat yang dihasilkan dapat tertangkap oleh butir-butir air yang terdapat di udara. Hal tersebut dapat dilakukan untuk mengurangi pencemaran udara yang terjadi.

REFERENSI

- Abulfaraj, W.H., Ahmed, M., & Mousli, K.M. (1990). Measurement of Ambient Air Lead Concentrations in The City of Jeddah, Saudi Arabia. *Environment International*, 16, p.85-88.
- Albert, L.A., & Badillo, F. (1991). Environmental Lead in Mexico. *Rev. Environmental Contaminant Toxicology*, 117, p.1-49.
- Al Mahmud, T., Siddique, M.N.A., Salam, A., & Alam, S. (2008). Temporal Variation of Atmospheric Aerosol Particulate Matters and Heavy Metal Concentrations in Dhaka, Bangladesh. *Journal of Analysis of Environmental Chemistry*, 9, p.26-31.
- Almeida, S.M., Farinha, M.M., Ventura, M.G., Pio, C.A., Freitas, M.C., Reis, M.A., & Trancoso, M.A. (2007). Measuring Particulate Matter in Large Urban Areas for Health Effects Assessment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 179, p.43-55.
- Ang, K.P., Tau, B.Y., Gunasingham, H., Teo, A.H., & Tham, Y.C. (1988). The Determination of Cadmium, Copper, and Lead in Ambient Air Particulates in Singapore. *International Journal of Environmental Studies*, 32, p.49-58.
- Asdep Emisi Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2007). *Udara Bersih: Kenyataan, Harapan, dan Tantangan*. disampaikan di Seminar Nasional Udara Bersih, Jakarta, 21 Mei 2007. <http://langitbiru.menlh.go.id/index.php?module=detailprog>. Diakses 11 Oktober 2010; 16.22.
- ATSDR. (1998). *Guidance for Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) Health Studies*. U.S. Department of Health and Human Services. <http://www.atsdr.cdc.gov/HS/gdl.html>. Diakses 25 November 2010; 17.03.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). *Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7119.3-2005 tentang Cara Uji Parikel Tersuspensi Total Menggunakan Peralatan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan Metode Gravimetri*. http://websisni.bsn.go.id/index.php?/sni_main/sni/detail_sni/7131. Diakses 4 November 2010; 15.12.

- Brauer, M., Gehring, U., Brunekreef, B., De Jongste, J., Gerritsen, J., Rovers, M., Wichmann, H.E., Wijga, A., Heinrich, J.(2006).Traffic-Related Air Pollution and Otitis Media.*Environmental Health Perspectives*,114,p.1414-1418.<http://www.jstor.org/stable/3700402>.Diakses 15 Desember 2010;22.31.
- Burnett, R.T., Dales, R., Krewski, D., Vincent, R., Dann, T., & Brook, J.F.(1995).Association Between Ambient Particulate Sulfate and Admissions to Ontario Hospitals for Cardiac and Respiratory Disease.*American Journal of Epidemiology*,142,p.15-22.
- CDC.(2005).Third National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals.*National Center for Environmental Health Publication No.05-0570, Center for Disease Control and Prevention ,Atlanta*, 41, p.74-75.
- Claeys Thoreau, F., Thiessen, I., Bruauez,P. , Ducroffre, G., & Verduyn, G.(1987).Assessment and Comparison of Human Exposure to Lead Between Belgium, Malta, Mexico, and Sweden.*International Arch.Occup.Environmental Health*,59,p.31-41.
- Cohn, L.F., & McVoy, G.R.(1981).*Environmental Analysis of Transportation Systems*.New York:Wiley Interscience.
- Dales, R., Liu, L., Szyszkowicz, M., Dalipaj, M., Willey, J., Kulka, R., & Ruddy, T.D.(2007).Particulate Air Pollution and Vascular Reactivity: The Bus Stop Study.*International Archive of Occupation and Environmental Health*,81,p.159-164.
- Data Volume Lalu Lintas Jasamarga. <http://www.jasamarga.com/volume-lalu-lintas.html>.Diakses 29 Desember 2010;20.03.
- Davis, M.L., & Cornwell, D.A.(2008).*Introduction to Environmental Engineering Fourth Edition*.Singapore:McGraw Hill.
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia.Parameter Pencemar Udara dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. <http://www.depkes.go.id/downloads/udara/pdf>.Diakses 25 Januari 2011;11.16.
- Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia.(1997).*Manual Kapasitas Jalan Indonesia*

- No.036/TBM/1997.http://binamarga.pu.go.id/referensi/nspm/tata_cara563.pdf.Diakses 14 November 2010; 16.12.
- Ghai, O.P., Gupta, P., & Paul, V.K.(2003).*Ghai Essential Paediatrics Fifth Edition*. New Delhi:Mehta Publisher.
- Ghose, M.K.(2002).Controlling of Motor Vehicle Emissions for a Sustainable City.*TIDE*,1,p.273-82.
- Gindo, Agus S., & Hari, Budi.(2007).Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN.Pengukuran Partikel Udara Ambient (TSP, PM₁₀,PM_{2,5}) di Sekitar Calon Lokasi PLTU Semenanjung Lemahabang.disampaikan pada Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah VI.<http://www.batan.go.id/ptlr/08id/?q=node/30>.Diakses 13 November 2010;19.05.
- Goyer, R.A.(1996).Result of Lead Research:Prenatal Exposure and Neurological Consequences.*Environmental Health Perspective*,104,p.10-50.
- Green Facts.PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{0,1}.<http://www.greenfacts.org/glossary/pqrs/PM10-PM2,5-PM0,1.htm>.Diakses 2 November 2010;16.10.
- Green Facts.(2005).*Scientific Facts on Air Pollution Particulate Matter*.<http://www.greenfacts.org/en/particulate-matter-pm/level-2/01-presentation.htm>.Diakses 7 November 2010;13.22.
- Griffith, J., Aldrich, T.E., & Duncan, R.C.(1993).*Epidemiology Research Methods.in:Environmental Epidemiology and Risk Assessment*.New York:Van Nostrand Reinhold.
- Harinaldi.(2005).*Prinsip-prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains*.Jakarta:Erlangga.
- Hashim, Z.(1994).Assessment of Atmospheric Lead Exposure on Children in Urban Areas, Malaysia.*PhD Thesis, School of Public Health, University of Michigan*.
- Heihnson, R.J., & Kabel, R.L..(1999).*Sources and Control of Air Pollution*.New Jersey:Prentice Hall.
- Hickman, A.J., Hassel, D., Jourmard, R., Samaras, Z., & Sorenson, S.(1999).*Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy*

Laboratory,p.381.<http://www.transportresearch.info/web/projectshow.cfm>

Hidayati, Nurul.(2003).Analisis Karakteristik Ruas Jalan:Studi Kasus Ruas Jalan Ir.Juanda, Bandung.*Jurnal Teknik Gelagar*,14,p.48-55.

Hildemann, L.M., Marowski, G.R., Jones, M.C., & Cass, G.R.(1991).Submicrometer Aerosol Mass Distribution of Emissions from Boilers, Fireplaces, Automobiles, Diesel Truck, and Meat Cooking Operations.*Aerosol Science and Technology*, 14, p.138-152.

Hinds, W.C.(1973).*Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*.New York:Addition Willey.

Horvarth, H., Kreiner, I., Norek, C., Preining, O., & Georgi, B.(1988).Diesel Emission in Vienna.*Atmospheric Environment*, 22, p.1255-1269.

Hwang, Y., & Wang, J.(1990)Temporal Fluctuations of The Lead Level in The Cord Blood of Neonates in Taipei.*Arch.Environmental Health*,45,p.42-45.

Imansyah.(2008, 21 Januari).WAHLI Jabar.*Sistem Transportasi Perkotaan yang Buruk merupakan Penyumbang Terbesar Polusi Udara*.<http://www.walhijabar.wordpress.com/2008/01/21/system-transportasi-perkotaan-yang-buruk-merupakan-penyumbang-terbesar-polusi-udara/>.Diakses 24 Januari 2011;10.13.

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>.Diakses 25 November 2010;19.15.

Irianto, Agus.(2007).*Statistik Konsep Dasar dan Aplikasinya*.Jakarta:Kencana Prenada Media Group.

IRIS.(1998).*Arsenic, Inorganic (CASRN 7440-38-2)U.S. EPA Integrated Risk Information System*.<http://www.epa.gov/iris/subs/0278.html>.Diakses 20 November 2010;11.03.

Janssen, N.A.H., van Vliet, P.H.N., Aarts, F., Harssema, H., & Brunekreef, Bert.(2001).Assessment of Exposure to Traffic Related Air Pollution of

- Children Attending Schools Near Motorways. *Atmospheric Environment*, 35, p.3875-3884.
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2003, 11 Juni). *Laporan Status Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 2002 : Udara dan Atmosfer*. <http://www.menlh.go.id/i/art/DFBAB%20III%20UDARA%20DANA%20ATMOSFER%2011062003.pdf>. Diakses 25 Januari 2011; 11.20.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No.45 Tahun 1997 tentang Indeks Standar Pencemar Udara.
- Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No.370/KPTS/M/2007 tentang Penetapan Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Ruas Jalan Tol yang Sudah Beroperasi dan Besarnya Tarif Tol Pada Beberapa Ruas Jalan Tol.
- Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No.107 Tahun 1997 tentang Perhitungan dan Pelaporan Indeks Standar Pencemar Udara.
- Kinney, P.L., Aggarwal, M., Northridge, M.A., Janssen, N.A.H., & Shepard, P. (2000). Personal Exposure to PM_{2.5} and Diesel Exhaust Particles on Harlem Sidewalks. *Environment Health Perspective*, 108, p.213-218.
- Kondo, A., Hamonangan, E., Soda, S., Kaga, A., Inoue, Y., Eguchi, M., & Yasaka, Y. (2007). Impacts of Converting from Leaded to Unleaded Gasoline on Ambient Lead Concentration in Jakarta Metropolitan Area. *Journal of Environmental Sciences*, 19, p.709-713.
- Krzyzanowski, M., & Cohen, A. (2008). Update of WHO Air Quality Guidelines. *Air Quality Atmosphere and Health*, 1, p.7-13.
- Landrigan, P.J. (2002). The World Problem of Lead in Petrol. *Bull World Health Organization*, 80, p.768.
- Liu, H., He, K., Wang, G., Hui, H., Lents, J., Davis, N., Chen, Ch., Osses, M., & He, Ch. (2007). Comparison of Vehicle Activity and Emission Inventory Between Beijing and Shanghai. *Journal of Air & Waste Management Association*, 57, 1176.
- Louvar, J.F., & Louvar, B.D. (1998). *Health and Environmental Risk Analysis: Fundamental with Application*. New Jersey: Prentice Hall.
- Lovei, M. (1996). *Phasing Out Lead From Gasoline: World Experience and Policy Implication*. Washington DC: The World Bank.

- Lovei, M.(1999).*Eliminating a Silent Threat : World Bank Support for The Global Phase Out of Lead from Gasoline*.disampaikan pada International conference on Lead Poisoning. The George Foundation, Bangalore, India, 8-10 Februari 1999.
- Manahan, S.E.(2005).*Environmental Chemistry 8th Edition*.New York:CRC Press.
- Maresky, L.S., & Grobier, S.R.(1993).Effect of The Reduction of Petrol Lead on The Blood Lead Levels of South Africans.*Sciences of Total Environment*,136,p.43-380.
- Mukai, H., Furuta, N., Fujii, T., Ambe, Y., Sakamoto, K., & Hashimoto, Y.(1993). Characteristic of Sources of Lead in The Urban Air of Asia Using Ratios of Stable Lead is Isotopes. *Environmental Science Technology*,27,p.1347-1356.
- Mulia, R.M.(2005).*Kesehatan Lingkungan*.Yogyakarta:Graha Ilmu.
- Nevers, Noel de.(2000).*Air Pollution Control Engineering*.Singapore:McGraw Hill.
- Nriagu, J., Jinabhaib, C., Naidoob, R., & Coutsoadis, A.(1996).Atmospheric Lead Pollution in KwaZulu/Natal,South Africa.*The Science of The Total Environment*,191,p.69-76.
- Nriagu, J.O., Blankson, M.L., & Ocran, K.(1996)Childhood Lead Poisoning in Africa: A Growing Public Health Problem .*Science of Total Environment*,181,p.93-100.
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No.KM 14 Tahun 2006 tentang Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas di Jalan.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara.
- Pönkö, Antti.(1998).Lead in The Ambient Air and Blood of Children in Helsinki.*The Science of The Total Environment*,219,p.1-3.
- Pope, C.A.(1991).Respiratory Hospital Admission Associated With PM10 Pollution in Utah, Salt Lake, and Cache Valleys.*Archives of Environmental Health*, 46, p.90-97.

- Pope, C.A., Bates, D.V., & Raizenne, M.E.(1995).Health Effects of Particulate Air Pollution:Time for reassessment?.*Environmental Health Perspective*, 103,p.472-480.<http://www.jstor.org/stable/3432586>.Diakses 15 Desember 200, 22.31.
- Pope, C.A., Thun, M.J., & Namboodri, M.M.(1995).Particulate Air pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of U.S. Adults.*American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*,151,669-674.
- Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G.D.(2002).Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution.*Journal American Medical Association*,287,p.1132-1141.
- Rahman, Abdur.(2007, April).Public Health Assessment:Model Kajian Prediktif Dampak Lingkungan dan Aplikasinya Untuk Manajemen Resiko Kesehatan.disampaikan pada pertemuan penguatan jaringan kerja sama dan kemitraan Program B/BTKL-PPM se-Indonesia, Manado, 15-18 April 2007,dan pada Pertemuan Ilmiah Berkala (PIB) Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta, 10 Juli 2007.
- Ren, C., & Tong, S.(2006).Temperature Modifies The Health Effects of Particulate Matter in Brisbane, Australia.*International Journal Biometeorology*,51,p.87-96.
- Roemer, W., Hoek, G., & Brunekreef, B.(1993).Effect of Ambient Winter Air Pollution on Respiratory Health of Children With Chronic Respiratory Symptoms.*American Rev.Respiratory Disease*,147,p.118-124.
- Roorda-Knape, M.C., Janssen, N.A.H., de Hartog, J.J.,van Vliet, P.H.N., Harssema, H., & Brunekreef, B.(1998).Air Pollution from Traffic in City Districts Near Major Motorways.*Atmospheric Environment*, 32, p.1921-1930.
- Saepudin, Aep, & Admono, Tri.(2005).Kajian Pencemaran Udara Akibat Emisi Kendaraan Bermotor di DKI Jakarta.Pusat Penelitian Telekomunikasi dan Mekatronik,LIPI.*Teknologi Indonesia*, 28, 29-39.

- Sari, Dini Novita.(2008, 17 November).Data Jumlah Kendaraan.
[http://us.metro.vivanews.com/news/read/9762-
 datajumlahkendaraan1](http://us.metro.vivanews.com/news/read/9762-datajumlahkendaraan1).Diakses 24 Januari 2011;10.08.
- Sari, Suryani Ika.(2005, 18 Januari).Metromini Penyebab Pencemaran Udara
 Terbesar di Jakarta.
[http://www.tempointeraktif.com/hg/jakarta/2005/01/18/brk,20050118-
 10,id.html](http://www.tempointeraktif.com/hg/jakarta/2005/01/18/brk,20050118-10,id.html).Diakses 25 Januari 2011;11.45.
- Satin, K.P., Neutra, R.R, Guirguis, G., & Flessel,P.(1991).Umbilical Cord Blood
 Levels in California.*Arch.Environment Health*,46.p.167-173.
- Schwartz, J., & Morris, R.(1995).Air Pollution and Hospital Admission for
 Cardiovascular Disease in Detroit, Michigan.*American Journal of
 Epidemiology*,142,p.22-35.
- Sheets, R.W., Thielmann, V.J., Wallace, B.N., Lang, B.M., & Collins,
 E.W.(1997).Airborne Lead in The Springfield, Missouri, Area During A
 19-Yera Period (1975-1993).*Environmental Pollution*,96,p.155-159.
- Singh, A.K., & Singh, Munendra.(2006).Lead Decline in The Indian Environment
 Resulting from The Petrol-Lead-Phase-Out Programme.*Sciece of The
 Total Environment*,368,p.686-694.
- Sudrajad, Agung.(2005).*Pencemaran Udara, Suatu Pendahuluan*.Inovasi Online
 Volume 5/XVII/November.
<http://io.ppijepang.org/article.php?id=111>.diakses 25 Januari 2011;11.04.
- Suhariyono, G., Syarbaini, & Kusdiana.(2004).Pusat Teknologi Limbah
 Radioaktif-BATAN.*Perkiraan Deposisi Partikel Udara (PM₁₀, PM_{2,5}, dan
 TSP) pada Saluran Pernapasan Penduduk Cilegon, Banten Menggunakan
 Perangkat Lunak LUDEP*.disampaikan pada Lokakarya Komputasi dalam
 Sains dan Teknologi Nuklir XV, Pusat Pengembangan Teknologi
 Informasi dan Komputasi Batan, Jakarta,
 2004.[http://www.batan.go.id/ppin/lokakarya/LKSTN
 15/Gatot%20S.pdf](http://www.batan.go.id/ppin/lokakarya/LKSTN15/Gatot%20S.pdf).Diakses 1 November 2010;17.22.
- Sullivan, J.H., Hubbard, R., Liu, S.L.L., Shepherd, K., Trenga, C.A., Koenig, J.Q.,
 Chandler, W.L., & Kaufman, J.D.(2007).A Community Study of The
 Effect of Particulate Matter on Blood Measures of Inflammation and

- Thrombosis in an Elderly Population.<http://www.ehjournal.net/content/6/1/3>.Diakses 11 Oktober 2010;16.24.
- Thomas, V. & Kwong, A.(2001).Ethanol as a Lead Replacement:Phasing Out Leaded Gasoline in Africa.*Energy Policy*,29,p.1133-1143.
- Thomas, V.M., Socolow, R.H., Fanelli, J.J., & Spiro, T.G.(1999).Effects of Reducing Lead in Gasoline: an Analysis of The International Experience.*Environmental Science Technology*,33,p.3942-3948.
- Tong, S., Von, Schirnding Y.E., & Prapamontol, T.(2000).Environmental Lead Exposure: a Public Health Problem of Global Dimensions.*Bull World Health Organization*,78,p.1068-1077.
- Tripathi, R.M., Khandekar, R.N., & Mishra,U.C.(1988).Size Dstribution of Atmospheric Aerosols in Urban Sites in India.*Science of Total Environment*,17,p.237-244.
- Tugaswati, A.Tri., Suzuki, S., Koyam, H., & Kwada, T.(1987).Asia Pacific Journal Public Health,1,23-27.
- Trochim, W.M.K.(2006, 20 Oktober).*Nonprobability Sampling*.<http://www.socialresearchmethods.net/kb/sampron.php>.Diakses 1 November 2010;13.03.
- Undang-Undang Republik Indonesia No.32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Undang-Undang Republik Indonesia No.38 Tahun 2004 tentang Jalan.
- U.S.EPA.(1987).Proposed Revisions to The Nation's Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter.*Federal Register*,49,p.10408-10435.
- U.S.EPA.(1990, Maret).*Exposure Factors Handbook,EPA 600/8-89/043:US Environmental Protection Agency*.http://rais/ornl.gov/documents/EFH_1989_EPA_600889043.pdf. Diakses 20 November 2010;10.43.
- U.S.EPA.(2009).*Particulate Matter*.<http://www.epa.gov/urbanair/pm/>.Diakses 2 November 2010;19.22.
- U.S.EPA.*Particle Pollution and Health*.
<http://www.epa.gov/oar/particlepollution/health>.Diakses 10 Oktober 2010;19.02.

- WHO.(1983).*Environmental Health Criteria 27:Guidleines on Studies in Environmental Epidemiology*.Geneva:World Health Organization.http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=5804&page=2
5. Diakses 6 Desember 2010,19.45.
- WHO.(2006).Air Quality Guidelines Global Update 2005.World Health Organization for Europe.Copenhagen:Author.
- Widowati,W., Sastiono,A., & Jusuf, R.(2008).*Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*.Yogyakarta:ANDI.
- Wiley, J., & Samuel, J.W.(1999).*Aerosol in Fundamental of Air Pollution*.New York:Sons Inc.
- Wright, A.A.(2000).*Exhaust Emissions from Combustion Machinery*.London:IMAREST.
- Wulandari.(2010, 8 Desember).*DKI Jakarta Batasi Jumlah Motor*.<http://www.harianjorga.com/beritas/detailberita/harjoberita/19766/dki-jakarta-batasi-jumlah-motor-view.html>.Diakses 18 Desember 2010;15.23.
- Zhongan, M., Slanina, S., Spaargen, G., & Yuanhang, Z.(2002, Februari).Traffic and Urban Air Pollution: The Case of Xi'an City, PRC. Disampaikan pada Regional Workshop: Transport Planning, Demand Management and Air Quality, Manila, 26-27 februari.http://www.adb.org/documents/events/2002/RETA5937/Manila/downloads/tp_15C_maozhongan.pdf.Diakses 25 Januari 2011;14.53.



LAMPIRAN-LAMPIRAN



LAMPIRAN 1
Surat Persetujuan Penelitian dan Pengukuran
(Sampling Udara) Jasa Marga

Nomor : EE. KP3. 698
Lampiran : -
Perihal : **Persetujuan Penelitian dan Pengukuran (Sampling Udara)**

6 Desember 2010

Yth.
Ketua Departemen Teknik Sipil FTUI
Universitas Indonesia
Kampus Baru UI. DEPOK 16424

Sehubungan dengan Surat Saudara No : MH-94.02 (Surat Pengantar Mahasiswa) /1044/FT.01/1/2010. Tanggal 04 November 2010 perihal : Permohonan Penelitian dan Pengukuran Sampling Udara, atas nama :

Nama : **Dewi Aprianti**
N I M : 0706275536
Program Studi : Teknik Lingkungan
Universitas/Akademi : Universitas Indonesia

Pada prinsipnya kami dapat menyetujui Mahasiswa Saudara untuk melakukan Penelitian di PT. Jasa Marga (Persero) Tbk, dari tanggal 1 Januari s.d. 31 Maret 2010 sebagai persyaratan untuk memenuhi Program S-1 Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Indonesia dengan Judul Skripsi : " Analisis Pengaruh Tingkat Arus Lalu Lintas Kendaraan di Pintu Jalan Tol Terhadap Tingkat Konsentrasi Total Suspended Particulate (TSP) di Udara Ambien Studi Kasus : Pintu Tol Cililitan ", dengan ketentuan sebagai berikut :

- Semua data penelitian adalah hanya untuk kepentingan akademis dan tidak untuk dipublikasikan.
- Menyerahkan 1 (satu) eksemplar Skripsi/laporan setelah selesai menyusun Tugas Akhir dalam bentuk hard copy maupun soft copy pdf file.
- Perusahaan tidak memberikan dana untuk penelitian/praktik kerja tersebut.
- Selanjutnya Mahasiswa yang bersangkutan dapat menghubungi Kepala Bagian Pelatihan dan Pengembangan SDM c.q. Kasubag Perencanaan Pelatihan dan Pengembangan SDM.

Atas perhatian Saudara diucapkan terima kasih.

Kepala Biro Pengembangan Organisasi & Manajemen



Ir. Unggul Cariawan, MSM.
NPP : 4819

Tembusan Yth. :

1. Kepala Divisi Manajemen Operasi
2. Kepala Cabang Cawang Tomang Cengkareng
3. Yang bersangkutan

IRP/LSY/ik

PT JASA MARGA (PERSERO) Tbk.

Plaza Tol Taman Mini Indonesia Indah
Jakarta 13550 - Indonesia
Tel. (62-21) 841 3526, 841 3630
Fax. (62-21) 840 1533, 841 3540
jasmar@jasamarga.com
www.jasamarga.com



LAMPIRAN 2

**Metode Pengujian Kadar Debu (TSP) di
Udara dengan Metode Gravimetri**

Metode Pengujian Kadar Debu (TSP) di Udara dengan Metode Gravimetri

Tujuan

Metode pengujian ini digunakan untuk memperoleh contoh uji debu di udara yang diserap oleh filter fiber glass dengan alat High Volume Air Sampler

Ruang Lingkup

Ruang lingkup pengujian meliputi :

1. Cara pengujian kadar debu yang mempunyai ukuran diameter 0,1 – 100 μm .
2. Penggunaan metode gravimetri dengan perhitungan selisih berat filter sebelum digunakan dan sesudah digunakan untuk pengambilan contoh uji debu dengan alat High Volume Air Sampler.

Acuan

Annual Book of ASTM Standards, 1997, vol 11.03, D4096-91

Prinsip

Partikel debu ditangkap dengan filter fiber glass yang sudah ditimbang sebelum dan sesudah pengambilan contoh uji. Kadar debu merupakan selisih berat awal dan akhir dibagi kecepatan alir kali waktu pengambilan.

Peralatan

1. Timbangan analitik dengan kepekaan minimal 0,1 mg
2. Pinset
3. Desikator
4. *High Volume Air Sampler* (HVAS)
5. Roll kabel
6. Tripod kurang lebih 1,5 m
7. Thermo-hygrometer

Bahan

1. Filter fiber glass Whatmann berdiameter 110 mm
2. Silika gel
3. Aluminum Foil
4. Kapas dan alkohol

Cara Kerja

Persiapan Sebelum Pengambilan Contoh Uji

1. Silika gel yang akan digunakan dalam desikator dipanaskan di dalam oven. Waktu pemanasan kurang lebih sekitar 8 jam. Setelah dipanaskan kemudian, dimasukkan ke dalam *Tupperware* yang berfungsi sebagai desikator.
2. Filter fiber glass yang akan digunakan untuk mengambil contoh uji debu diambil dengan menggunakan pinset dan kemudian ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik.
3. Filter fiber glass yang telah ditimbang tersebut lalu dibungkus dengan aluminum foil dan diberi label yang telah ditulis berat awalnya.
4. Setelah diberi label, filter yang telah terbungkus tersebut dimasukkan ke dalam desikator yang sudah diisi silica gel selama 24 jam.
5. *Filter folder* HVAS dibersihkan dengan menggunakan alkohol dan kapas hingga bersih dan tidak terdapat debu atau kotoran di bagian sisi-sisinya.



a

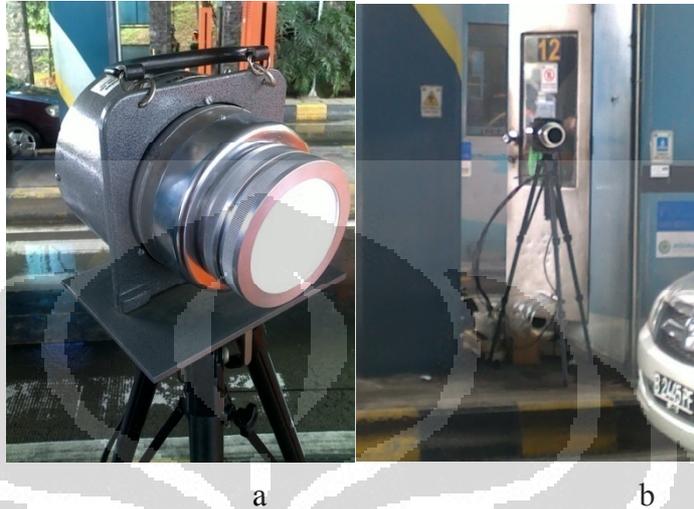
b

c

Keterangan gambar: a) kertas filter ditimbang dengan menggunakan neraca analitik, b.) kertas filter dibungkus dengan aluminum foil, c.) Tupperware berisi silika gel yang digunakan sebagai desikator

Pengambilan Contoh Uji

1. HVAS diletakkan di atas tripod setinggi kurang lebih 1,5 meter dan kemudian dihubungkan dengan sumber listrik menggunakan kabel roll.

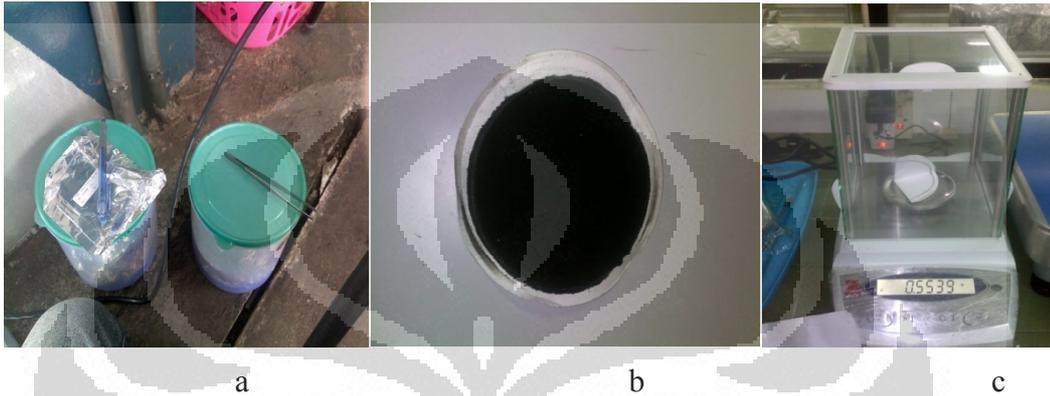


Keterangan gambar: a) kertas filter yang telah terpasang pada *filter folder* HVAS, b.) alat HVAS yang digunakan pada proses pengambilan sampel udara.

2. Kertas filter dikeluarkan dari aluminum foil pembungkus dengan bantuan pinset, kemudian dipasang dalam *filter holder High Volume Air Sampler*.
3. HVAS dihidupkan dengan menggeser saklar HVAS ke arah depan.
4. Kecepatan alir pengambilan contoh uji yang terbaca pada skala HVAS dicatat.
5. Besarnya nilai suhu dan kelembaban yang terbaca pada thermo-hygrometer juga dicatat pada lembar data setiap 15 menit, dan kemudian diambil rata-ratanya.
6. Setelah satu jam, kecepatan alir pengambilan contoh uji yang terbaca pada skala HVAS dibaca kembali, kemudian alat dimatikan.
7. Kertas filter yang mengandung debu dikeluarkan dari *filter folder* HVAS dengan bantuan pinset, dilipat dan kemudian dibungkus kembali dengan aluminum foil.
8. Kertas filter yang telah terbungkus aluminum foil kemudian dimasukkan kembali ke desikator.

(Lanjutan Lampiran 2)

9. Dilakukan langkah-langkah yang sama untuk melanjutkan pengukuran debu pada jam-jam selanjutnya.
10. Setelah semua pengukuran selesai, kertas filter yang terbungkus aluminum foil dalam desikator dibawa ke laboratorium untuk dilakukan penimbangan.



Keterangan gambar: a) tupperware yang digunakan sebagai desikator untuk menyimpan filter yang telah dipakai , b.) kertas filter setelah digunakan dalam pengambilan sampel udara, c.) kertas filter yang telah digunakan dilipat dan ditimbang dengan neraca analitik.

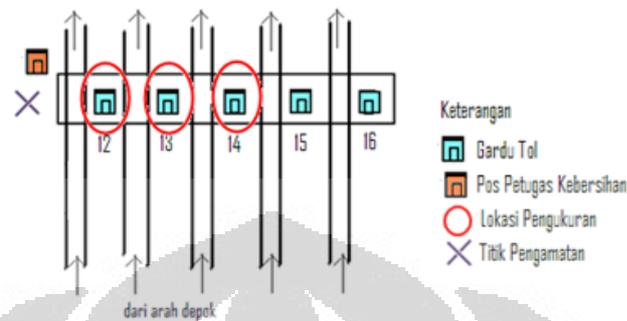


LAMPIRAN 3
HASIL PENGAMBILAN
DATA PENELITIAN

Lampiran 3

Hasil Pengambilan Data Penelitian

Lay out Tata Letak Gardu Pintu Tol Cililitan 2



A. Gardu 12

1. Hari/Tanggal : Rabu, 12 Januari 2011

A.1.1 Data Pengukuran TSP

Waktu	T (°C)	T _{avg} (°C)	K (%)	K _{avg} (%)	Q ₁ (m ³ /menit)	Q ₂ (m ³ /menit)	w ₁ (gram)	w ₂ (gram)
06.00-07.00	T ₁ :26,2 T ₂ :25,8 T ₃ :26,4 T ₄ :26,4	26,2	K ₁ :94 K ₂ :95 K ₃ :98 K ₄ :97	96	1,2	0,8	0,5342	0,5495
07.00-08.00	T ₁ : 27 T ₂ :26,8 T ₃ :26,5 T ₄ :26,5	26,7	K ₁ :92 K ₂ :95 K ₃ :95 K ₄ :94	94	1,2	0,8	0,5372	0,5561
08.00-09.00	T ₁ : 28 T ₂ :27,7 T ₃ :27,7 T ₄ :27,4	27,7	K ₁ :88 K ₂ :89 K ₃ :86 K ₄ :93	89	1,3	0,4	0,5386	0,558
09.00-10.00	T ₁ :28,3 T ₂ :28,2 T ₃ :28,4 T ₄ :28,7	28,4	K ₁ :86 K ₂ :86 K ₃ :85 K ₄ :83	85	1,3	0,9	0,5395	0,5587
10.00-11.00	T ₁ : 28,9 T ₂ :29,3 T ₃ :29,4 T ₄ :29,2	29,2	K ₁ : 82 K ₂ :79 K ₃ :78 K ₄ :77	79	1,2	1	0,5385	0,5579
11.00-12.00	T ₁ : 30,6 T ₂ : 30,6 T ₃ :30,7 T ₄ :30,9	30,7	K ₁ : 71 K ₂ : 74 K ₃ : 73 K ₄ : 74	73	1,2	0,8	0,5335	0,5601
12.00-13.00	T ₁ : 27,9 T ₂ :28,2 T ₃ :28,3 T ₄ :28,4	28,2	K ₁ : 80 K ₂ :82 K ₃ :84 K ₄ :86	83	1,2	0,7	0,5433	0,5714

A.1.2 Data Jumlah Kendaraan

Waktu	Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V
06.00-07.00	210	33	8	2	1
07.00-08.00	259	42	12	3	2
08.00-09.00	216	67	10	4	2
09.00-10.00	209	44	9	5	3
10.00-11.00	246	55	13	5	2
11.00-12.00	219	49	17	11	3
12.00-13.00	190	75	25	10	4

A.1.3 Keadaan Lalu Lintas dan Kondisi Cuaca Hasil Pengamatan

- a. 06.00-07.00 : cuaca cerah, tidak berangin, lalu lintas lancar
- b. 07.00-08.00 : cuaca cerah, tidak berangin, mulai terjadi antrian
- c. 08.00-09.00 : cuaca cerah, tidak berangin, terjadi antrian
- d. 09.00-10.00 : mendung, hujan rintik sekitar 10 menit, lalu lintas lancar
- e. 10.00-11.00 : cuaca cerah kembali, tidak berangin, lalu lintas lancar
- f. 11.00-12.00 : cuaca cerah, terjadi antrian pada gardu
- g. 12.00-13.00 : cuaca cerah, terjadi antrian pada gardu

Istilah yang digunakan untuk menggambarkan kondisi lalu lintas yang terjadi didefinisikan sebagai berikut:

1. Lalu lintas lancar mendeskripsikan suatu kondisi dimana arus kendaraan yang melewati gerbang tol cenderung lancar dan hanya terdapat tiga sampai empat kendaraan yang mengantre pada gardu tol.
2. Mulai terjadi antrean mendeskripsikan suatu kondisi dimana terdapat peningkatan jumlah kendaraan yang mengantre pada gardu tol. Pada kondisi lancar, jumlah kendaraan yang mengantre berkisar dari tiga sampai empat, sedangkan pada kondisi mulai terjadi antrean jumlah kendaraan mengantre meningkat menjadi lima sampai sepuluh kendaraan.
3. Terjadi antrean mendeskripsikan suatu kondisi dimana antrean yang terjadi pada gardu tol sudah sangat panjang dan sangat sulit untuk dilakukan penghitungan jumlah kendaraan mengantre akibat terbatasnya sudut pandang pada titik pengamatan.

(Lanjutan Lampiran 3)

4. Mulai lancar mendeskripsikan suatu perubahan kondisi, yang sebelumnya berstatus mulai terjadi antrean atau terjadi antrean menjadi menuju ke kondisi lalu lintas lancar kembali.

2. Hari/Tanggal : Minggu, 27 Februari 2011

A.2.1 Data Pengukuran TSP

Waktu	T (°C)	T _{avg} (°C)	K (%)	K _{avg} (%)	Q ₁ (m ³ /menit)	Q ₂ (m ³ /menit)	w ₁ (gram)	w ₂ (gram)
06.00-07.00	T ₁ :28,5 T ₂ :32 T ₃ :30 T ₄ :29	29,875	K ₁ :86 K ₂ :76 K ₃ :90 K ₄ :75	81,75	1,4	1,3	0,5362	0,5455
07.00-08.00	T ₁ :31 T ₂ :30 T ₃ :28 T ₄ :29	29,5	K ₁ :74 K ₂ :74 K ₃ :98 K ₄ :90	84	1,5	1	0,5421	0,5488
08.00-09.00	T ₁ :33 T ₂ :34 T ₃ :33 T ₄ :34	33,5	K ₁ :79 K ₂ :64 K ₃ :70 K ₄ :60	68,25	1,5	1,2	0,5390	0,5486
09.00-10.00	T ₁ :34 T ₂ :35 T ₃ :35 T ₄ :35	34,75	K ₁ :68 K ₂ :58 K ₃ :54 K ₄ :54	58,5	1,5	1,2	0,5389	0,5566
10.00-11.00	T ₁ :32 T ₂ :33 T ₃ :36 T ₄ :36,5	34,375	K ₁ :68 K ₂ :62 K ₃ :64 K ₄ :62	64	1,5	1,2	0,5414	0,5497
11.00-12.00	T ₁ :31 T ₂ :33 T ₃ :33 T ₄ :32	32,25	K ₁ :78 K ₂ :70 K ₃ :68 K ₄ :70	71,5	1,5	1,2	0,5421	0,5480
12.00-13.00	T ₁ :30 T ₂ :32 T ₃ :32 T ₄ :32	31,5	K ₁ :80 K ₂ :70 K ₃ :72 K ₄ :74	74	1,5	1	0,5404	0,5516

A.2.2 Data Jumlah Kendaraan

Waktu	Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V
06.00-07.00	109	15	9	0	2
07.00-08.00	155	15	4	3	3
08.00-09.00	199	19	9	4	3
09.00-10.00	167	34	16	3	3
10.00-11.00	184	19	20	6	4
11.00-12.00	227	13	19	7	0
12.00-13.00	177	20	25	6	2

A.2.3 Keadaan Lalu Lintas dan Kondisi Cuaca Hasil Pengamatan

- a. 06.00-07.00 : cuaca mendung, tidak berangin, lalu lintas lancar
- b. 07.00-08.00 : cuaca mendung, tidak berangin, lalu lintas lancar
- c. 08.00-09.00 : cuaca cerah, tidak berangin, lalu lintas lancar
- d. 09.00-10.00 : cuaca cerah, tidak berangin, mulai terjadi antrian pada gardu
- e. 10.00-11.00 : cuaca cerah, tidak berangin, lalu lintas lancar
- f. 11.00-12.00 : cuaca mendung, tidak berangin, lalu lintas lancar
- g. 12.00-13.00 : cuaca mendung, tidak berangin, mulai terjadi antrean

(Lanjutan Lampiran 3)

B. Gardu 13

1. Hari/Tanggal : Sabtu, 15 Januari 2011

B.1.1 Data Pengukuran TSP

Waktu	T (°C)	T _{avg} (°C)	K (%)	K _{avg} (%)	Q ₁ (m ³ /menit)	Q ₂ (m ³ /menit)	w ₁ (gram)	w ₂ (gram)
06.00-07.00	T ₁ : 27,6 T ₂ : 27,7 T ₃ : 27,9 T ₄ : 28,4	27,9	K ₁ : 79 K ₂ : 80 K ₃ : 82 K ₄ : 83	81	1,3	1,1	0,5375	0,5505
07.00-08.00	T ₁ : 25,5 T ₂ : 25 T ₃ : 23 T ₄ : 22,5	24	K ₁ : 73 K ₂ : 73 K ₃ : 74 K ₄ : 76	74	1,3	1,1	0,5409	0,5559
08.00-09.00	T ₁ : 27,9 T ₂ : 28,1 T ₃ : 28,3 T ₄ : 28,5	28,2	K ₁ : 79 K ₂ : 80 K ₃ : 81 K ₄ : 80	80	1,3	0,9	0,5385	0,554
09.00-10.00	T ₁ : 28,5 T ₂ : 28,4 T ₃ : 28,2 T ₄ : 28,1	28,3	K ₁ : 82 K ₂ : 84 K ₃ : 83 K ₄ : 83	83	1,3	0,8	0,5388	0,5537
10.00-11.00	T ₁ : 28,1 T ₂ : 28,4 T ₃ : 28,5 T ₄ : 28,6	28,4	K ₁ : 78 K ₂ : 79 K ₃ : 80 K ₄ : 79	79	1,3	1,1	0,5371	0,5487
11.00-12.00	T ₁ : 26,2 T ₂ : 25,9 T ₃ : 25,7 T ₄ : 25,4	25,8	K ₁ : 93 K ₂ : 95 K ₃ : 96 K ₄ : 96	95	1,35	1	0,5404	0,5495
12.00-13.00	T ₁ : 27,0 T ₂ : 27,4 T ₃ : 27,5 T ₄ : 27,3	27,3	K ₁ : 89 K ₂ : 90 K ₃ : 92 K ₄ : 93	91	1,2	0,95	0,5421	0,5563

B.1.2 Data Jumlah Kendaraan

Waktu	Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V
06.00-07.00	166	26	5	3	2
07.00-08.00	254	36	5	3	6
08.00-09.00	259	57	12	2	3
09.00-10.00	206	55	19	7	2
10.00-11.00	230	39	18	6	5
11.00-12.00	190	31	16	19	15
12.00-13.00	229	38	22	11	11

(Lanjutan Lampiran 3)

B.1.3 Keadaan Lalu Lintas dan Kondisi Cuaca Hasil Pengamatan

- a. 06.00-07.00 : cuaca mendung, lalu lintas lancar
- b. 07.00-08.00 : cuaca mendung, lalu lintas lancar
- c. 08.00-09.00 : cuaca cerah, terjadi antrean pada gardu
- d. 09.00-10.00 : cuaca cerah, lalu lintas lancar
- e. 10.00-11.00 : cuaca mendung kemudian gerimis sekitar 15 menit, tidak berangin, lalu lintas lancar
- f. 11.00-12.00 : cuaca kembali cerah, lalu lintas lancar
- g. 12.00-13.00 : cuaca cerah, terjadi antrian pada gardu akibat kondisi ruas jalan yang macet

2. Hari/Tanggal : Selasa, 18 Januari 2011

B.2.1 Data Pengukuran TSP

Waktu	T (°C)	T _{avg} (°C)	K (%)	K _{avg} (%)	Q ₁ (m ³ /menit)	Q ₂ (m ³ /menit)	w ₁ (gram)	w ₂ (gram)
06.00-07.00	T ₁ :26,3 T ₂ :27,6 T ₃ :28 T ₄ :27,3	27,3	K ₁ :81 K ₂ :84 K ₃ :80 K ₄ :83	82	1,25	1,2	0,5324	0,5426
07.00-08.00	T ₁ :29,3 T ₂ :28,2 T ₃ :28,7 T ₄ :28,2	28,6	K ₁ :75 K ₂ :77 K ₃ :78 K ₄ :74	76	1,2	1,1	0,5334	0,5446
08.00-09.00	T ₁ :30,8 T ₂ :31 T ₃ :31,2 T ₄ :31	31	K ₁ :72 K ₂ :73 K ₃ :76 K ₄ :75	74	1,25	1,2	0,5425	0,5560
09.00-10.00	T ₁ :29 T ₂ :29,5 T ₃ :29 T ₄ :29,3	29,2	K ₁ :85 K ₂ :87 K ₃ :86 K ₄ :86	86	1,25	1	0,5365	0,5525
10.00-11.00	T ₁ : 30,5 T ₂ :29,2 T ₃ :30,7 T ₄ :30	30,1	K ₁ :83 K ₂ :84 K ₃ :87 K ₄ :86	85	1,25	1	0,5425	0,5533
11.00-12.00	T ₁ :30,9 T ₂ :31,3 T ₃ :31,6 T ₄ :31,4	31,3	K ₁ :71 K ₂ :72 K ₃ :73 K ₄ :72	72	1,2	1,1	0,5387	0,5563
12.00-13.00	T ₁ :31,4 T ₂ :31,3 T ₃ :31,8 T ₄ :31,9	31,6	K ₁ :68 K ₂ :69 K ₃ :72 K ₄ :71	70	1,25	1,1	0,5474	0,5609

B.2.2 Data Jumlah Kendaraan

Waktu	Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V
06.00-07.00	219	4	2	0	0
07.00-08.00	283	12	3	1	1
08.00-09.00	324	27	3	2	1
09.00-10.00	220	45	11	3	6
10.00-11.00	205	32	15	3	4
11.00-12.00	166	57	23	5	6
12.00-13.00	170	47	27	6	8

B.2.3 Keadaan Lalu Lintas dan Kondisi Cuaca Hasil Pengamatan

- a. 06.00-07.00 : cuaca mendung, tidak berangin, lalu lintas lancar
- b. 07.00-08.00 : cuaca mendung, tidak berangin, mulai terjadi antrian
- c. 08.00-09.00 : cuaca mulai cerah, tidak berangin, terjadi antrian
- d. 09.00-10.00 : cuaca cerah, lalu lintas mulai lancar
- e. 10.00-11.00 : cuaca cerah, tidak berangin, lalu lintas lancar
- f. 11.00-12.00 : cuaca cerah, terjadi antrian pada gardu akibat kondisi ruas jalan yang macet
- g. 12.00-13.00 : cuaca mendung, tidak berangin, lalu lintas lancar.

C. Gardu 14**3. Hari/Tanggal : Selasa, 23 Februari 2011****C.1.1 Data Pengukuran TSP**

Waktu	T (°C)	T _{avg} (°C)	K (%)	K _{avg} (%)	Q ₁ (m ³ /menit)	Q ₂ (m ³ /menit)	w ₁ (gram)	w ₂ (gram)
06.00-07.00	T ₁ :27,5 T ₂ :28 T ₃ :29 T ₄ :29	28,38	K ₁ :66 K ₂ :73 K ₃ :74 K ₄ :73	71,5	1,4	1,05	0,5392	0,5506
07.00-08.00	T ₁ :30 T ₂ :31 T ₃ :31 T ₄ :34	31,5	K ₁ :70 K ₂ :65 K ₃ :68 K ₄ :53	64	1,45	1,0	0,5415	0,5544
08.00-09.00	T ₁ :32 T ₂ :32 T ₃ :31 T ₄ :32	31,75	K ₁ :58 K ₂ :62 K ₃ :62 K ₄ :62	61	1,5	1,0	0,5383	0,5551
09.00-10.00	T ₁ :33 T ₂ :33,5 T ₃ :34 T ₄ :34	33,625	K ₁ :58 K ₂ :52 K ₃ :50 K ₄ :49	52,25	1,4	0,9	0,5401	0,5515
10.00-11.00	T ₁ :35,5 T ₂ :35 T ₃ :36 T ₄ :37	35,875	K ₁ :43 K ₂ :48 K ₃ :42 K ₄ :46	44,75	1,3	0,75	0,5382	0,5516
11.00-12.00	T ₁ :35 T ₂ :36 T ₃ :36 T ₄ :35	35,5	K ₁ :43 K ₂ :37 K ₃ :38 K ₄ :38	39	1,3	0,8	0,5417	0,5562
12.00-13.00	T ₁ :34 T ₂ :35 T ₃ :34 T ₄ :33	34	K ₁ :45 K ₂ :52 K ₃ :66 K ₄ :66	57,25	1,35	1,1	0,5375	0,5490

C.1.2 Data Jumlah Kendaraan

Waktu	Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V
06.00-07.00	379	26	2	1	1
07.00-08.00	391	41	3	3	1
08.00-09.00	247	77	6	2	2
09.00-10.00	215	53	12	8	3
10.00-11.00	239	86	20	5	3
11.00-12.00	214	86	30	10	1
12.00-13.00	243	63	15	2	2

(Lanjutan Lampiran 3)

C.1.3 Keadaan Lalu Lintas dan Kondisi Cuaca Hasil Pengamatan

- a. 06.00-07.00 : cuaca cerah, tidak berangin, lalu lintas lancar
- b. 07.00-08.00 : cuaca cerah, tidak berangin, mulai terjadi antrian
- c. 08.00-09.00 : cuaca mendung berawan, tidak berangin, terjadi antrian
- d. 09.00-10.00 : cuaca cerah, tidak berangin, lalu lintas lancar
- e. 10.00-11.00 : cuaca cerah, tidak berangin, mulai terjadi antrian
- f. 11.00-12.00 : cuaca mendung, terjadi antrian pada gardu
- g. 12.00-13.00 : cuaca mendung, lalu lintas mulai lancar

4. Hari/Tanggal : Sabtu, 26 Februari 2011

C.2.1 Data Pengukuran TSP

Waktu	T (°C)	T _{avg} (°C)	K (%)	K _{avg} (%)	Q ₁ (m ³ /menit)	Q ₂ (m ³ /menit)	w ₁ (gram)	w ₂ (gram)
06.00-07.00	T ₁ :28 T ₂ :29 T ₃ :32 T ₄ :33	31	K ₁ :63 K ₂ :82 K ₃ :63 K ₄ :56	66	1,4	1,0	0,5410	0,5590
07.00-08.00	T ₁ :31 T ₂ :29 T ₃ :35 T ₄ :35	32,5	K ₁ :62 K ₂ :66 K ₃ :51 K ₄ :48	56,75	1,6	1,1	0,5385	0,5568
08.00-09.00	T ₁ :32 T ₂ :32 T ₃ :32 T ₄ :32	32	K ₁ :54 K ₂ :62 K ₃ :63 K ₄ :65	61	1,5	1,1	0,5388	0,5530
09.00-10.00	T ₁ :33,5 T ₂ :32 T ₃ :31 T ₄ :31	31,88	K ₁ :56 K ₂ :66 K ₃ :70 K ₄ :70	65,5	1,5	0,95	0,5402	0,5516
10.00-11.00	T ₁ :32 T ₂ :33 T ₃ :36 T ₄ :36	34,25	K ₁ :66 K ₂ :64 K ₃ :64 K ₄ :53	61,75	1,55	1,1	0,5364	0,5514
11.00-12.00	T ₁ :38 T ₂ :35 T ₃ :35 T ₄ :36	36	K ₁ :44 K ₂ :46 K ₃ :48 K ₄ :44	45,5	1,4	1,1	0,5375	0,5434
12.00-13.00	T ₁ :34 T ₂ :33 T ₃ :32 T ₄ :32	32,75	K ₁ :55 K ₂ :60 K ₃ :68 K ₄ :72	63,75	1,4	1,1	0,5372	0,5476

C.2.2 Data Jumlah Kendaraan

Waktu	Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V
06.00-07.00	176	63	15	4	3
07.00-08.00	274	59	9	2	6
08.00-09.00	305	53	18	7	5
09.00-10.00	201	50	13	6	9
10.00-11.00	256	80	22	8	8
11.00-12.00	202	69	37	8	4
12.00-13.00	164	42	14	17	12

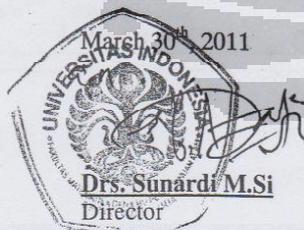
C.2.3 Keadaan Lalu Lintas dan Kondisi Cuaca Hasil Pengamatan

- a. 06.00-07.00 : cuaca mendung, tidak berangin, lalu lintas lancar
- b. 07.00-08.00 : cuaca mendung, tidak berangin, lalu lintas lancar
- c. 08.00-09.00 : cuaca cerah, tidak berangin, mulai terjadi antrian
- d. 09.00-10.00 : cuaca cerah, lalu lintas lancar
- e. 10.00-11.00 : cuaca mendung, kemudian terjadi hujan rintik sekitar 5 menit, lalu lintas lancar
- f. 11.00-12.00 : cuaca kembali cerah, lalu lintas lancar
- g. 12.00-13.00 : cuaca cerah, terjadi antrian pada gardu



Lab. Afiliasi

LABORATORY TEST RESULTS				
Job. Number : 146 / III / 011		Date : 30 - 03 - 2011		
Customer : Sdri. Diah		Attention :		
Parameter Analysis : Lead (Pb)				
Date Received : 25 - 03 - 2011				
Sample Matrix : Solid (Filter Fiber Glass HVAS)				
No.	Sample Code	Sample Result	Unit	Method
1.	AF - 146 - 1 (1) Jam Sampling= 06.00-07.00, W1 = 0.5410, W2 = 0.5590, Q1 = 1.4, Q2 = 1 (26)	0.108	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	AAS
2.	AF - 146 - 2 (2) Jam Sampling= 11.00-12.00, W1 = 0.5417, W2 = 0.5562, Q1 = 0.5562, Q2 = 0.8 (23)	0.012		
3.	AF - 146 - 3 (3) Jam Sampling= 07.00-08.00, W1 = 0.5385, W2 = 0.5568, Q1 = 1.6, Q2 = 1.4 (26)	0.097		
4.	AF - 146 - 4 (4) Jam Sampling= 08.00-09.00, W1 = 0.5383, W2 = 0.5551, Q1 = 1.5, Q2 = 1 (26)	0.004		





LAMPIRAN 4

**Data Volume Kendaraan Dalam Unit
Satuan Mobil Penumpang/Jam**

Lampiran 4

Data Volume Kendaraan Dalam Unit Satuan Mobil Penumpang/jam

Tabel Nilai Faktor Satuan Mobil Penumpang yang Digunakan

Jenis Kendaraan	Jalan Raya
Mobil penumpang, taxi, pick up, minibus	1
Bus, truk 2 dan 3 sumbu	3
Bus tempel, truk > 3 sumbu	4

Sumber: Buku Manual Kapasitas Jalan Indonesia No.036/TBM/1997

Faktor Konversi SMP untuk tiap golongan kendaraan

Golongan I = 1

Golongan II = 3

Golongan III = 3

Golongan IV = 4

Golongan V = 4

A. Gardu 12, Rabu 12 Januari 2011

Waktu	Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V	Total (SMP/jam)
06.00-07.00	210	99	24	8	4	345
07.00-08.00	259	126	36	12	8	441
08.00-09.00	216	201	30	16	8	471
09.00-10.00	209	132	27	20	12	400
10.00-11.00	246	165	39	20	8	478
11.00-12.00	219	147	51	44	12	473
12.00-13.00	190	225	75	40	16	546

B. Gardu 12, Minggu 27 Januari 2011

Waktu	Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V	Total (SMP/jam)
06.00-07.00	109	45	27	0	8	189
07.00-08.00	155	45	12	12	12	236
08.00-09.00	199	57	27	16	12	311
09.00-10.00	167	102	48	12	12	341
10.00-11.00	184	57	60	24	16	341
11.00-12.00	227	39	57	28	0	351
12.00-13.00	177	60	75	24	8	344

(Lanjutan Lampiran 4)

C. Gardu 13, Sabtu 15 januari 2011

Waktu	Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V	Total (SMP/jam)
06.00-07.00	166	78	15	12	8	279
07.00-08.00	254	108	15	12	24	413
08.00-09.00	259	171	36	8	12	486
09.00-10.00	206	165	57	28	8	464
10.00-11.00	230	117	54	24	20	445
11.00-12.00	190	93	48	76	60	467
12.00-13.00	229	114	66	44	44	497

D. Gardu 13, Selasa 18 januari 2011

waktu	Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V	Total (SMP/jam)
06.00-07.00	219	12	6	0	0	237
07.00-08.00	283	36	9	4	4	336
08.00-09.00	324	81	9	8	4	426
09.00-10.00	220	135	33	12	24	424
10.00-11.00	205	96	45	12	16	374
11.00-12.00	166	171	69	20	24	450
12.00-13.00	170	141	81	24	32	448

E. Gardu 14, Selasa 23 Februari 2011

waktu	Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V	Total (SMP/jam)
06.00-07.00	379	78	6	4	4	471
07.00-08.00	391	123	9	12	4	539
08.00-09.00	247	231	18	8	8	512
09.00-10.00	215	159	36	32	12	454
10.00-11.00	239	258	60	20	12	589
11.00-12.00	214	258	90	40	4	606
12.00-13.00	243	189	45	8	8	493

F. Gardu 14, Sabtu 26 februari 2011

waktu	Gol.I	Gol.II	Gol.III	Gol.IV	Gol.V	Total (SMP/jam)
06.00-07.00	176	189	45	16	12	438
07.00-08.00	274	177	27	8	24	510
08.00-09.00	305	159	54	28	20	566
09.00-10.00	201	150	39	24	36	450
10.00-11.00	256	240	66	32	32	626
11.00-12.00	202	207	111	32	16	568
12.00-13.00	164	126	42	68	48	448



LAMPIRAN 5
Cara Perhitungan Konsentrasi TSP Hasil
Pengukuran

Lampiran 5

Cara Perhitungan Konsentrasi TSP Hasil Pengukuran

Untuk menghitung nilai konsentrasi TSP hasil pengukuran, terlebih dahulu harus dilakukan perhitungan nilai laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar yang dinyatakan dengan simbol Q_s . Nilai Q_s dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Q_s = Q_0 \times \left[\frac{T_s \times P_0}{T_0 \times P_s} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Dimana,

Q_s = Laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar (m^3 /menit)

Q_0 = Laju alir volume uji (m^3 /menit)

T_s = Temperatur standar, yaitu 298 K

T_0 = Temperatur absolute saat pengujian (K)

P_s = Tekanan barometrik standar, yaitu 101,3 kPa (760 mmHg)

P_0 = Tekanan barometrik saat pengujian (mmHg)

Contoh Perhitungan

Data pengukuran pada hari Rabu, 12 Januari 2011 pukul 07.00-08.00, diketahui:

$$Q_1 = Q_{01} = 1,2 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$T_{\text{avg}} = T_0 = 26,7 \text{ }^\circ\text{C} = (26,7 + 273) \text{ K} = 299,7 \text{ K}$$

$$T_s = 298 \text{ K}$$

$$P_s = P_0 = 760 \text{ mmHg}$$

Dari data tersebut kemudian akan dilakukan perhitungan Q_{s1} dengan menggunakan persamaan di atas. Berikut merupakan perhitungan nilai Q_{s1} .

$$Q_{s1} = 1,2 \text{ m}^3/\text{menit} \times \left[\frac{298 \text{ K} \times 760 \text{ mmHg}}{299,7 \text{ K} \times 760 \text{ mmHg}} \right]^{\frac{1}{2}} = 1,197 \text{ m}^3/\text{menit}$$

Setelah didapat nilai laju alir volume terkoreksi untuk Q_1 atau Q_{s1} , juga dilakukan perhitungan laju alir volume terkoreksi untuk Q_2 , yaitu Q_{s2} . Perhitungan Q_{s2} dilakukan dengan cara yang sama seperti pada perhitungan Q_{s1} .

(Lanjutan Lampiran 5)

Diketahui:

$$Q_2 = Q_{02} = 0,8 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$T_{\text{avg}} = T_0 = 26,7 \text{ }^\circ\text{C} = (26,7 + 273) \text{ K} = 299,7 \text{ K}$$

$$T_s = 298 \text{ K}$$

$$P_s = P_0 = 760 \text{ mmHg}$$

Maka, nilai Q_{s2} adalah sebagai berikut.

$$Q_{s2} = 0,8 \text{ m}^3/\text{menit} \times \left[\frac{298 \text{ K} \times 760 \text{ mmHg}}{299,7 \text{ K} \times 760 \text{ mmHg}} \right]^{\frac{1}{2}} = 0,798 \text{ m}^3/\text{menit}$$

Setelah didapat nilai laju alir volume terkoreksi untuk Q_1 dan Q_2 , hal selanjutnya yang dilakukan adalah menghitung banyak volume udara yang diambil saat pengujian berlangsung. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$V = \frac{Q_{s1} + Q_{s2}}{2} \times t$$

(2.2)

$$= \frac{1,197 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} + 0,798 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}}}{2} \times 60 \text{ menit} = 59,83 \text{ m}^3$$

Setelah didapat nilai volume udara yang diambil saat pengujian berlangsung, lalu dilakukan perhitungan konsentrasi TSP hasil pengukuran. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$[C] = \frac{(M_t - M_0) \times 10^6}{V}$$

Dengan keterangan:

[C] = Konsentrasi *Total Suspended Particulate* di udara ambien ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

M_t = Berat filter setelah pengambilan sampel udara (g)

M_0 = Berat filter bersih atau sebelum pengambilan sampel udara (g)

10^6 = Konversi gram ke μg

V = Volum contoh uji udara (m^3)

Dari data yang didapat diketahui:

$$M_t = w_2 = 0,5561 \text{ gram}$$

$$M_0 = w_1 = 0,5372 \text{ gram}$$

$$V = 59,83 \text{ m}^3$$

(Lanjutan Lampiran 5)

Sehingga, nilai konsentrasi TSP hasil pengukuran adalah sebagai berikut.

$$[C] = \frac{(0,5561 \text{ gram} - 0,5372 \text{ gram}) \times 10^6}{59,83 \text{ m}^3} = 315,897 \text{ } \mu\text{g/Nm}^3$$

Semua data yang didapat dari lapangan diolah dengan cara tersebut, sehingga diperoleh hasil perhitungan konsentrasi pengukuran TSP untuk semua data adalah sebagai berikut.

Tabel Hasil Perhitungan Konsentrasi TSP di lapangan

Gardu	Hari/Tanggal	Waktu	Kons. TSP ($\mu\text{g/Nm}^3$)
12	Rabu, 12 Januari 2011	06.00-07.00	255,513
		07.00-08.00	315,897
		08.00-09.00	382,112
		09.00-10.00	292,564
		10.00-11.00	296,004
		11.00-12.00	447,553
		12.00-13.00	495,622
12	Minggu, 27 Feb 2011	06.00-07.00	115,750
		07.00-08.00	90,005
		08.00-09.00	120,197
		09.00-10.00	222,065
		10.00-11.00	104,068
		11.00-12.00	73,720
		12.00-13.00	150,953
13	Selasa, 18 Januari 2011	06.00-07.00	139,310
		07.00-08.00	163,296
		08.00-09.00	185,513
		09.00-10.00	238,702
		10.00-11.00	161,363
		11.00-12.00	257,755
		12.00-13.00	193,598
13	Sabtu, 15 Januari 2011	06.00-07.00	181,432
		07.00-08.00	207,983
		08.00-09.00	236,106
		09.00-10.00	237,814
		10.00-11.00	162,028
		11.00-12.00	129,251
		12.00-13.00	221,003

(Lanjutan Lampiran 5)

Lanjutan Tabel Hasil Perhitungan Konsentrasi TSP di lapangan

Gardu	Hari/Tanggal	Waktu	Kons. TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
14	Rabu, 23 Februari 2011	06.00-07.00	155,978
		07.00-08.00	177,414
		08.00-09.00	226,523
		09.00-10.00	167,591
		10.00-11.00	221,826
		11.00-12.00	234,178
		12.00-13.00	158,808
14	Sabtu, 26 Februari 2011	06.00-07.00	252,504
		07.00-08.00	228,751
		08.00-09.00	184,177
		09.00-10.00	156,881
		10.00-11.00	191,585
		11.00-12.00	80,105
		12.00-13.00	140,458

Nilai konsentrasi hasil perhitungan tersebut merupakan nilai konsentrasi dengan waktu pengukuran 1 jam. Untuk dapat dilakukan perbandingan dengan nilai baku mutu udara ambient yang berlaku maka harus dikonversi terlebih dahulu agar didapat nilai pendekatan konsentrasi TSP untuk waktu pengukuran 24 jam. Konversi dilakukan dengan menggunakan persamaan konversi Canter sebagai berikut.

$$C_1 = C_2 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^p$$

Dimana, C_1 adalah konsentrasi yang setara dengan konsentrasi TSP di udara dengan waktu pengukuran 24 jam, C_2 adalah konsentrasi TSP di udara dengan waktu pengukuran selama 1 jam, p adalah faktor konversi dengan nilai antara 0,17 sampai 0,2, t_2 adalah waktu pengukuran saat dilakukan pengambilan sampel, yaitu 1 jam, dan t_1 adalah waktu pengukuran selama 24 jam. Nilai p yang digunakan adalah 0,17, dengan pertimbangan bahwa nilai tersebut menghasilkan nilai konversi terbesar dibandingkan dengan faktor konversi lainnya. Berikut merupakan hasil konversi konsentrasi TSP dengan waktu pengukuran 1 jam menjadi konsentrasi TSP dengan waktu pengukuran 24 jam.

(Lanjutan Lampiran 5)

Tabel Hasil Perhitungan Konversi Konsentrasi TSP

Gardu	Hari/Tanggal	Waktu	Kons. TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Kons.TSP Hasil Konversi ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
12	Rabu, 12 Januari 2011	06.00-07.00	255,513	148,860
		07.00-08.00	315,897	184,039
		08.00-09.00	382,112	222,615
		09.00-10.00	292,564	170,445
		10.00-11.00	296,004	172,449
		11.00-12.00	447,553	260,741
		12.00-13.00	495,622	288,745
12	Minggu, 27 Feb 2011	06.00-07.00	115,750	67,435
		07.00-08.00	90,005	52,436
		08.00-09.00	120,197	70,026
		09.00-10.00	222,065	129,373
		10.00-11.00	104,068	60,629
		11.00-12.00	73,720	42,949
		12.00-13.00	150,953	87,944
13	Selasa, 18 Januari 2011	06.00-07.00	139,310	81,161
		07.00-08.00	163,296	95,135
		08.00-09.00	185,513	108,078
		09.00-10.00	238,702	139,065
		10.00-11.00	161,363	94,009
		11.00-12.00	257,755	150,166
		12.00-13.00	193,598	112,789
13	Sabtu, 15 Januari 2011	06.00-07.00	181,432	105,701
		07.00-08.00	207,983	121,169
		08.00-09.00	236,106	137,553
		09.00-10.00	237,814	138,548
		10.00-11.00	162,028	94,396
		11.00-12.00	129,251	75,301
		12.00-13.00	221,003	128,754
14	Rabu, 23 Februari 2011	06.00-07.00	155,978	90,871
		07.00-08.00	177,414	103,360
		08.00-09.00	226,523	131,970
		09.00-10.00	167,591	97,637
		10.00-11.00	221,826	129,234
		11.00-12.00	234,178	136,430
		12.00-13.00	158,808	92,520

(Lanjutan Lampiran 5)

Lanjutan Tabel Hasil Perhitungan Konversi Konsentrasi TSP

Gardu	Hari/Tanggal	Waktu	Kons. TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Kons.TSP Hasil Konversi ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
14	Sabtu, 26 Februari 2011	06.00-07.00	252,504	147,107
		07.00-08.00	228,751	133,269
		08.00-09.00	184,177	107,300
		09.00-10.00	156,881	91,398
		10.00-11.00	191,585	111,616
		11.00-12.00	80,105	46,669
		12.00-13.00	140,458	81,830

Dengan data nilai rata-rata konsentrasi TSP per jam dan hasil konversinya adalah sebagai berikut.

Tabel Rata-rata Konsentrasi TSP per Jam Pada Hari Kerja

waktu	Kons. TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Kons.TSP Hasil Konversi ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Baku Mutu TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
06.00-07.00	183,60	106,96	230
07.00-08.00	218,87	127,51	230
08.00-09.00	264,72	154,22	230
09.00-10.00	232,95	135,72	230
10.00-11.00	226,40	131,90	230
11.00-12.00	313,16	182,45	230
12.00-13.00	282,68	164,68	230

Tabel Rata-Rata Konsentrasi TSP per Jam Pada Hari Libur

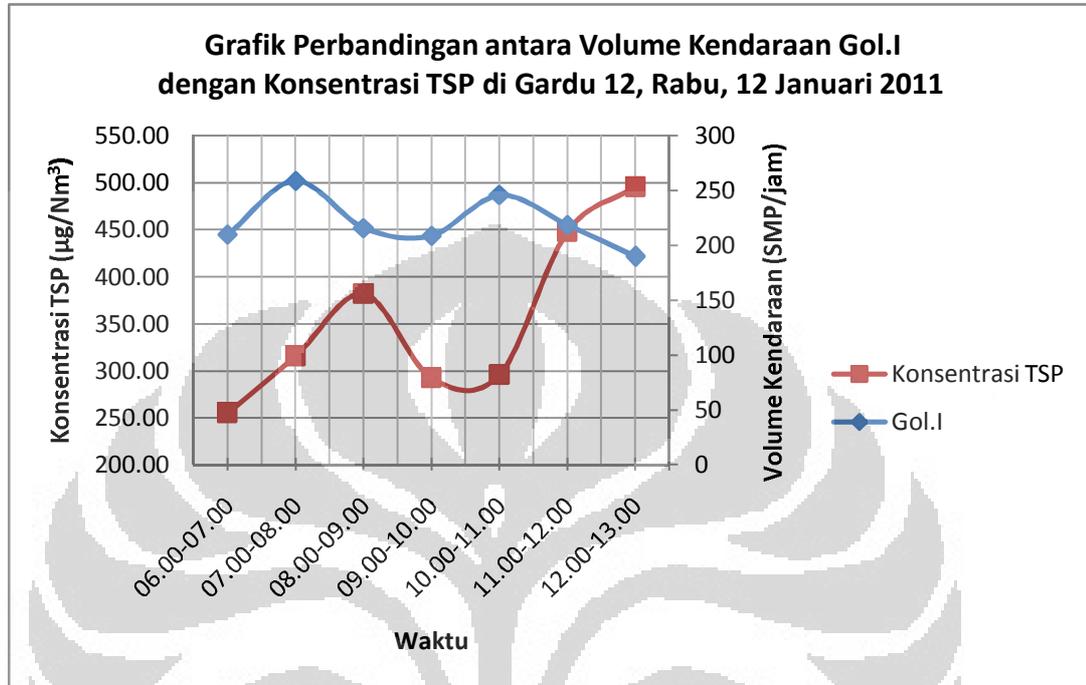
waktu	Kons. TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Kons.TSP Hasil Konversi ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Baku Mutu TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
06.00-07.00	183,23	106,75	230
07.00-08.00	175,58	102,29	230
08.00-09.00	180,16	104,96	230
09.00-10.00	205,59	119,77	230
10.00-11.00	152,56	88,88	230
11.00-12.00	94,36	54,97	230
12.00-13.00	170,80	99,51	230



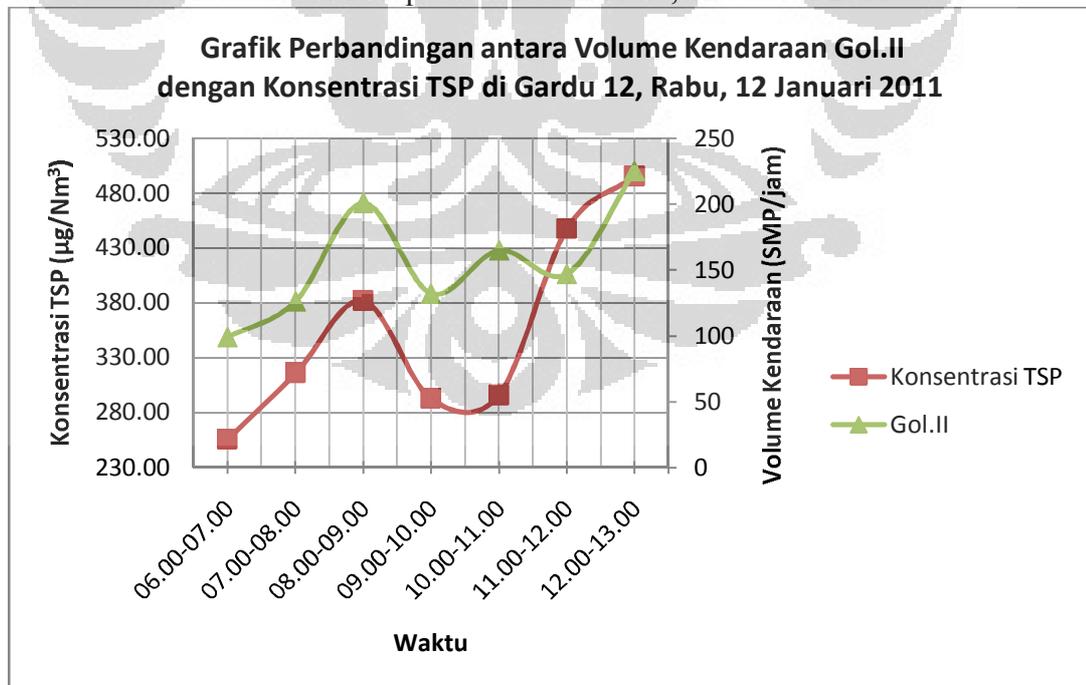
LAMPIRAN 6
Grafik Hubungan Antara Volume Kendaraan
dengan Konsentrasi TSP

Grafik Hubungan antara Volume Kendaraan dengan Konsentrasi TSP

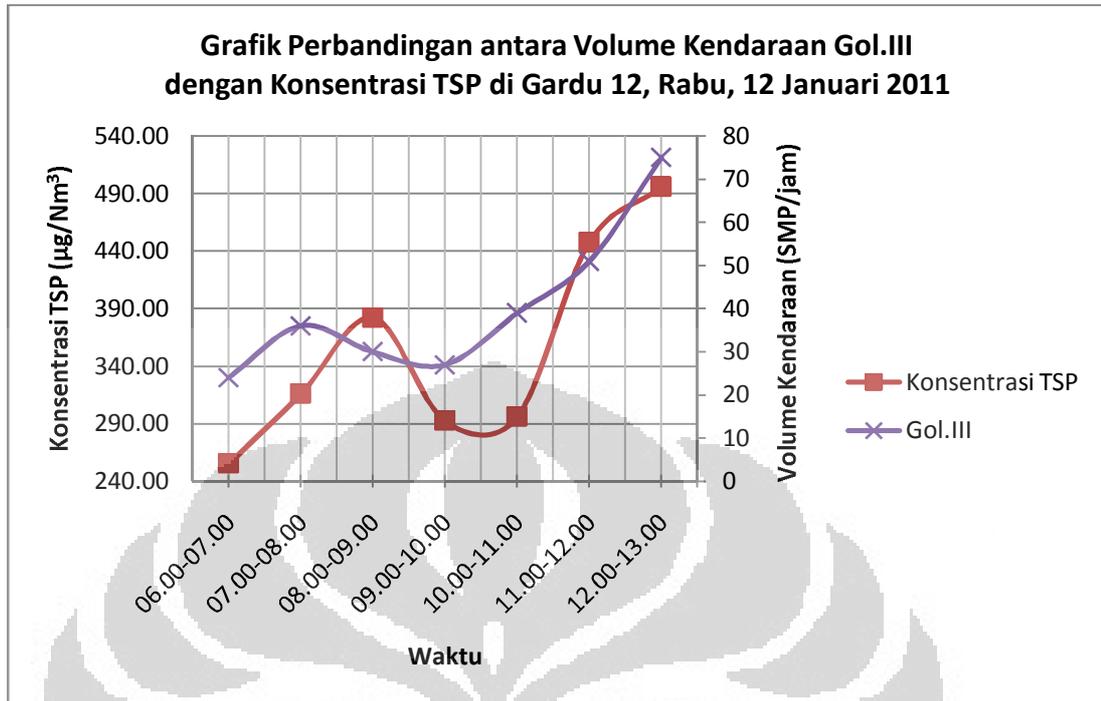
A. Gardu 12, Rabu, 12 Januari 2011



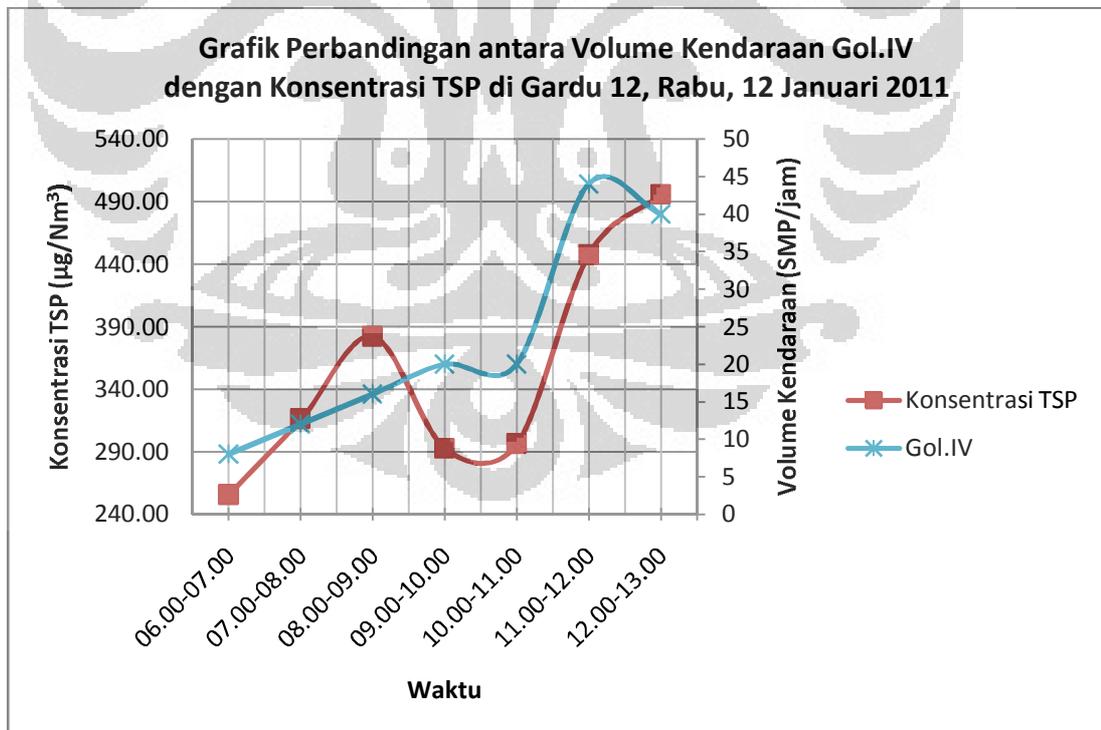
Gambar A.1 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Rabu, 12 Januari 2011



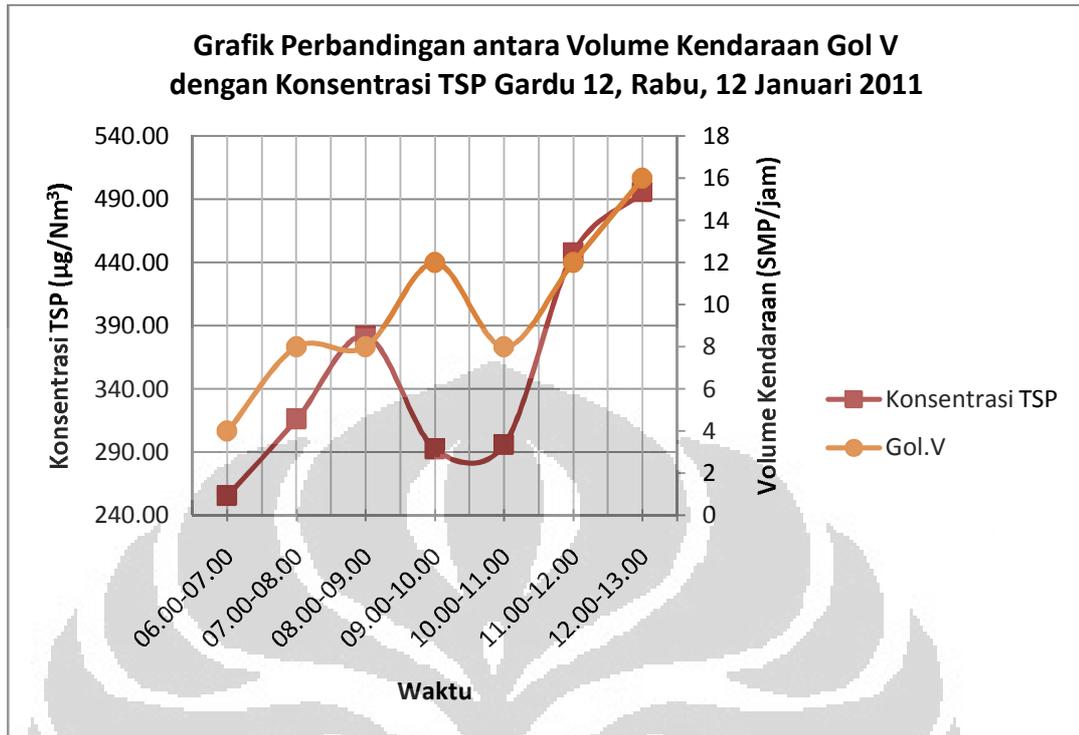
Gambar A.2 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan II dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Rabu, 12 Januari 2011



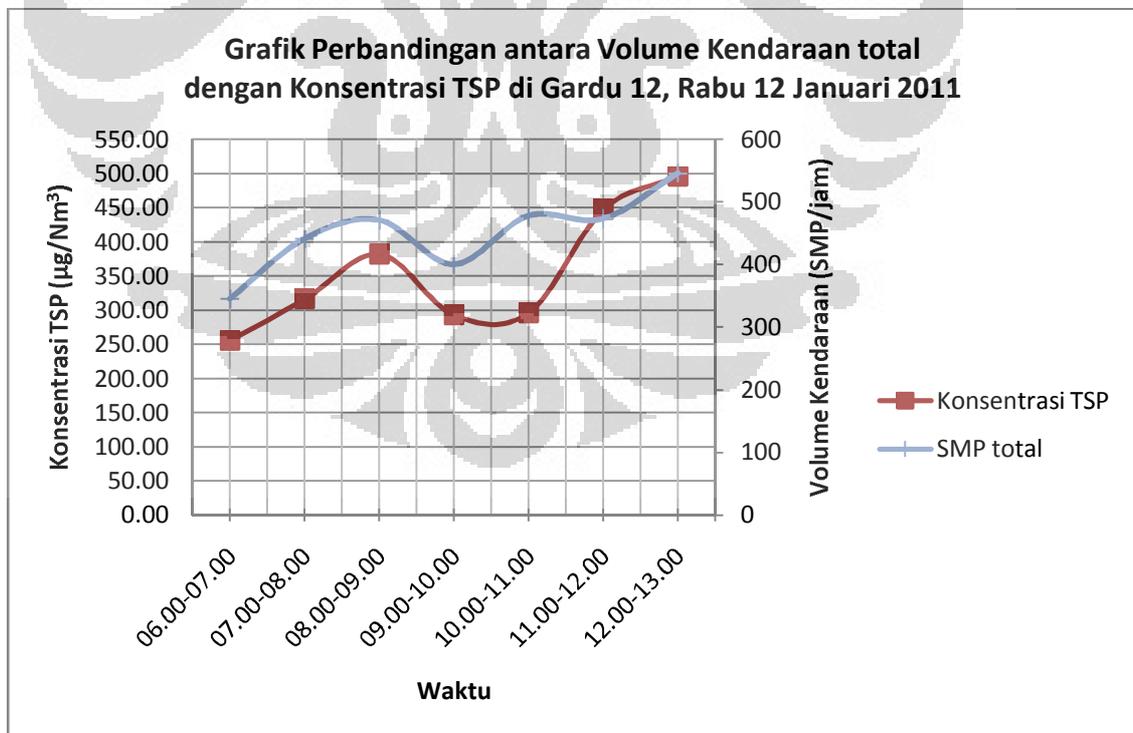
Gambar A.3 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan III dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Rabu, 12 Januari 2011



Gambar A.4 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan IV dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Rabu, 12 Januari 2011

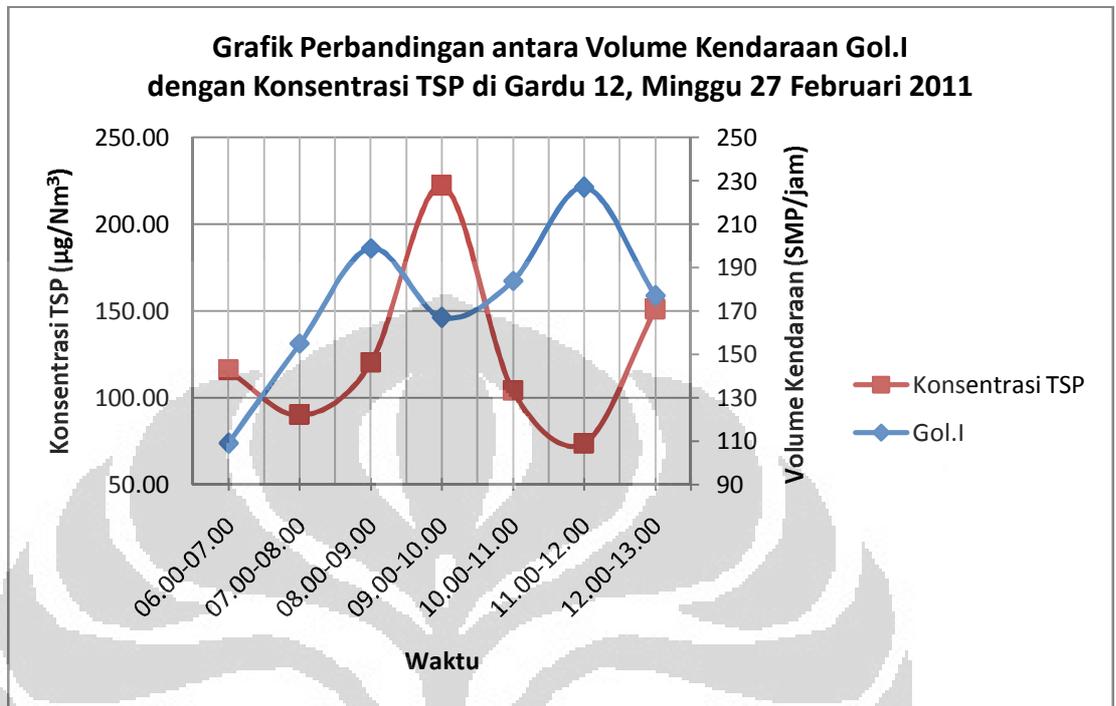


Gambar A.5 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Rabu, 12 Januari 2011

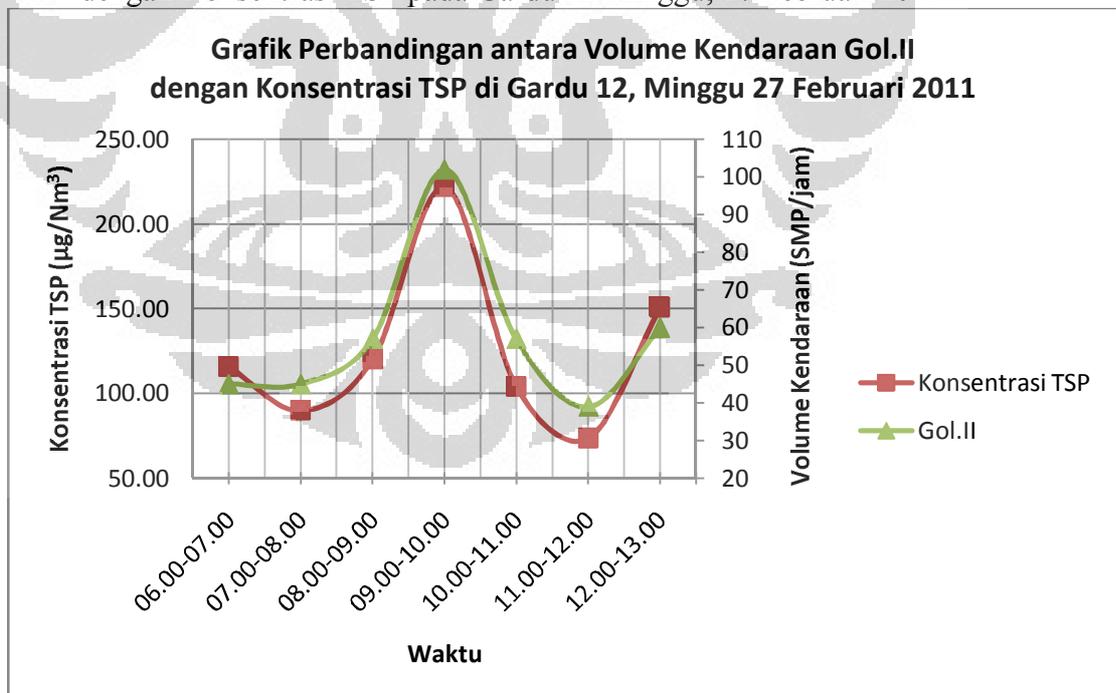


Gambar A.6 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Total dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Rabu, 12 Januari 2011

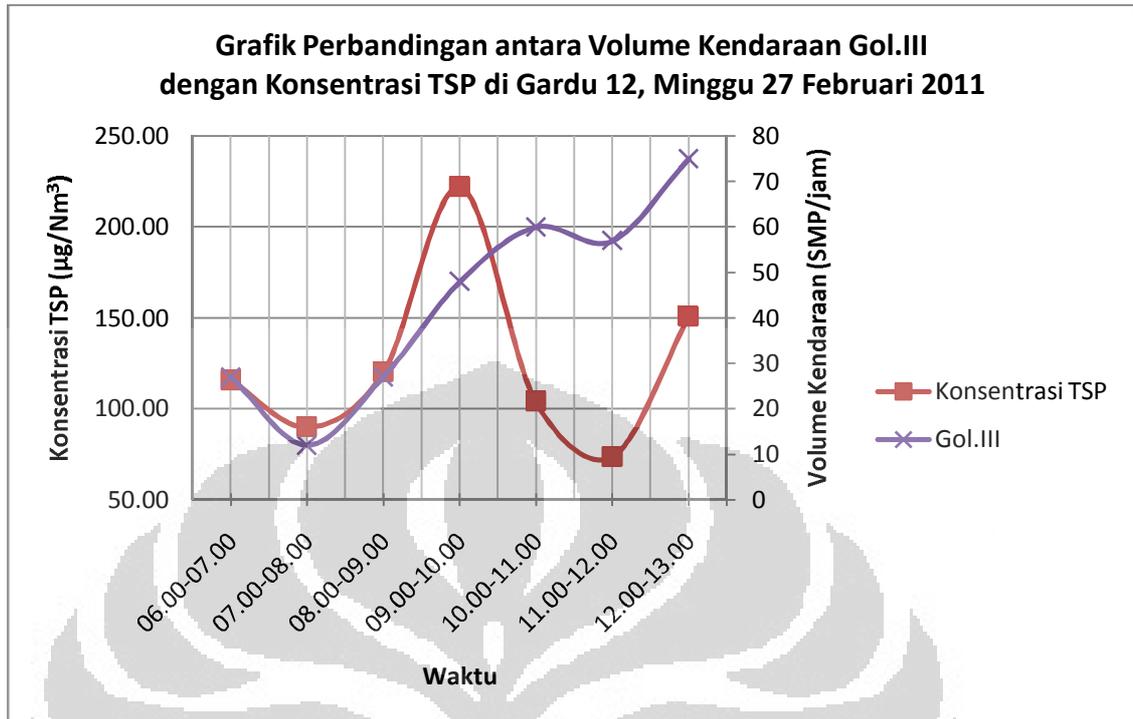
B. Gardu 12, Minggu, 27 Februari 2011



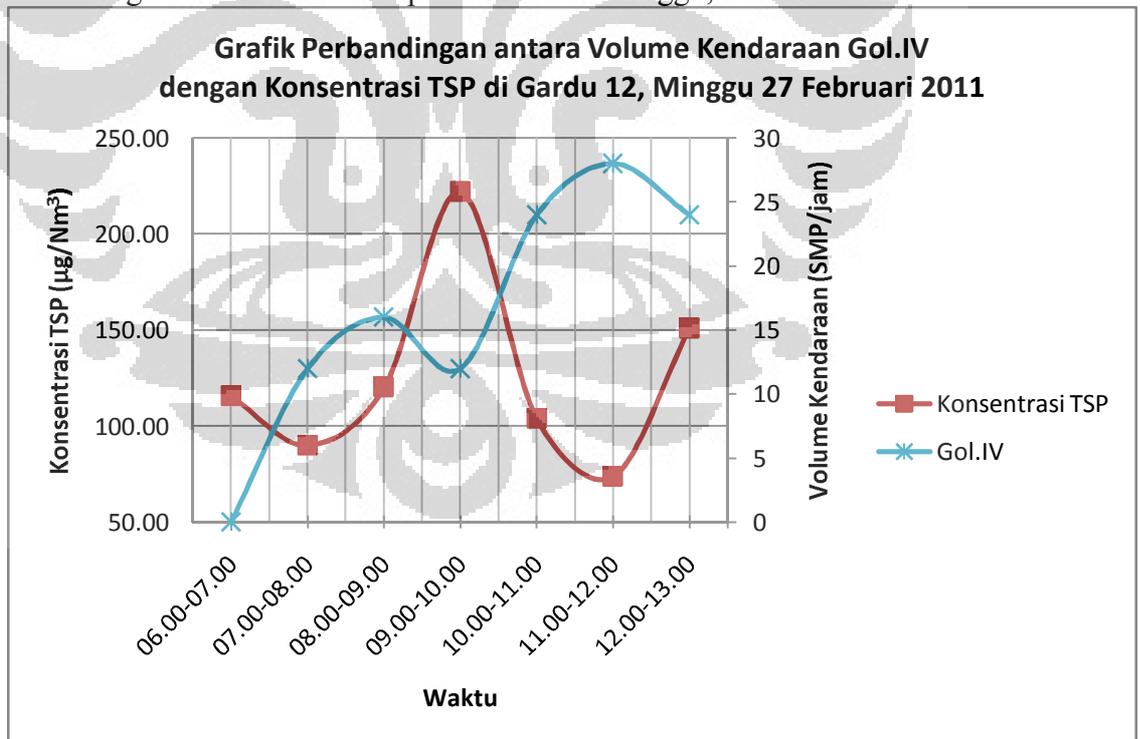
Gambar B.1 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Minggu, 17 Februari 2011



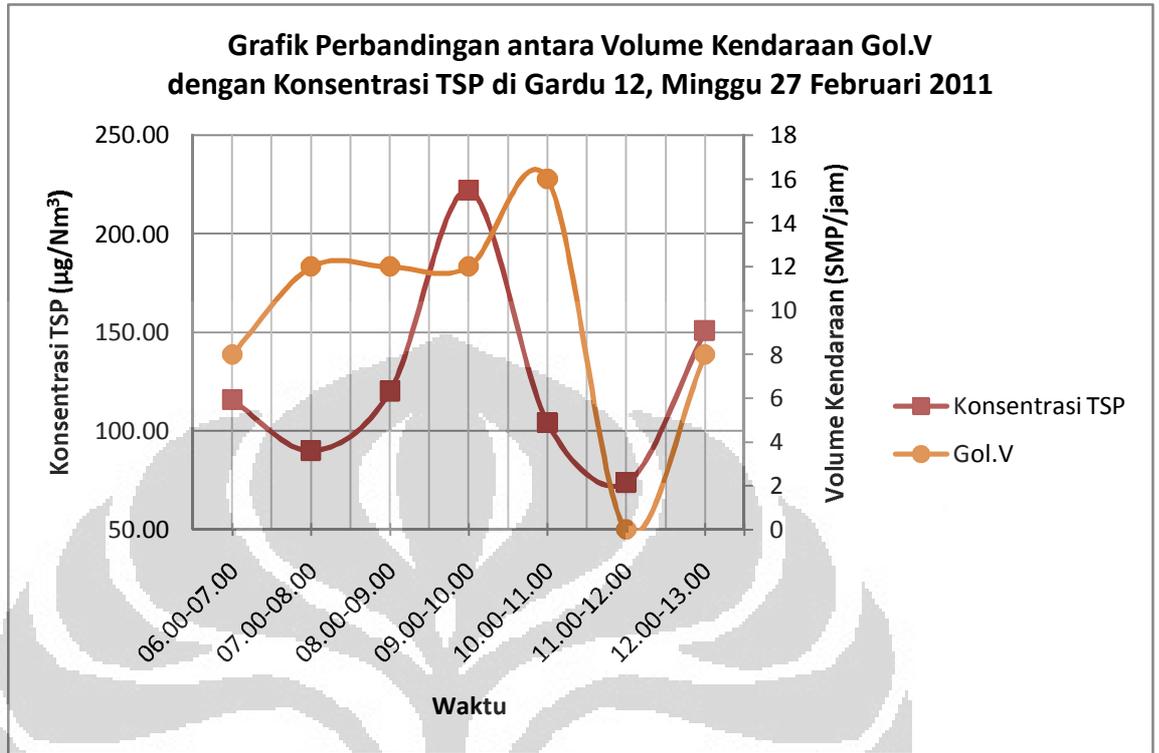
Gambar B.2 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan II dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Minggu, 27 Februari 2011



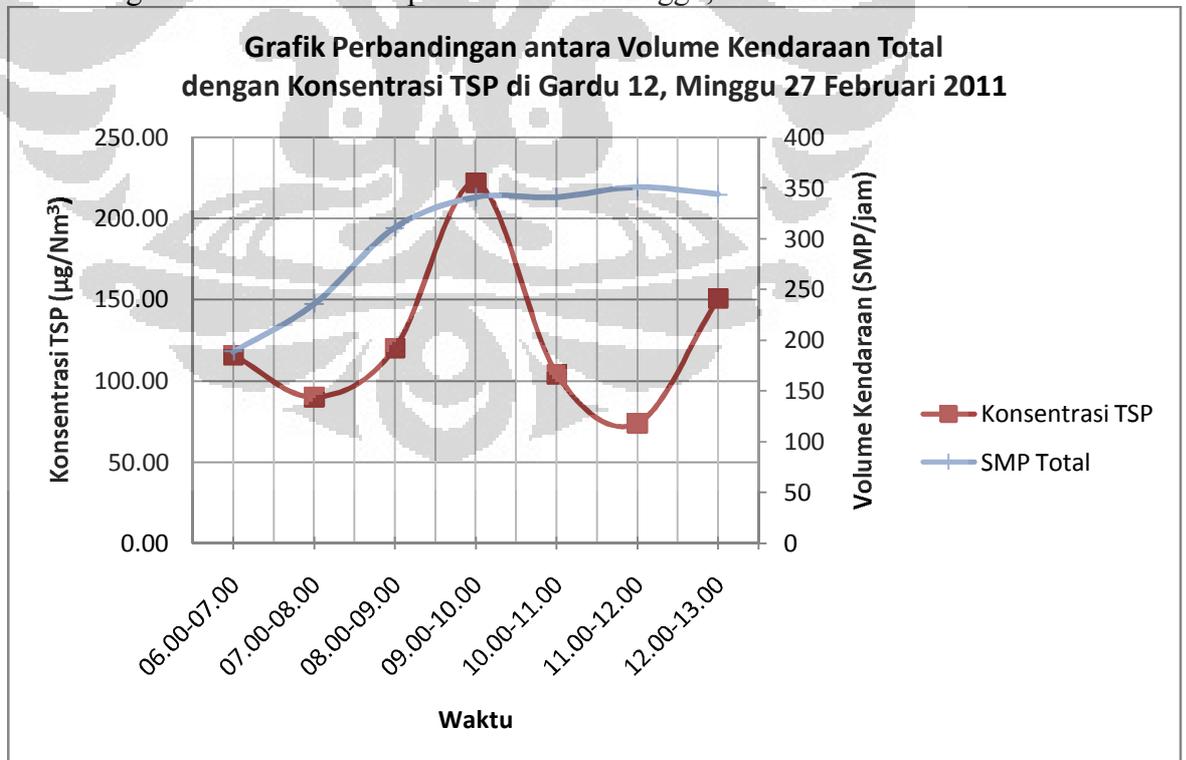
Gambar B.3 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan III dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Minggu, 27 Februari 2011



Gambar B.4 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan IV dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Minggu, 27 Februari 2011

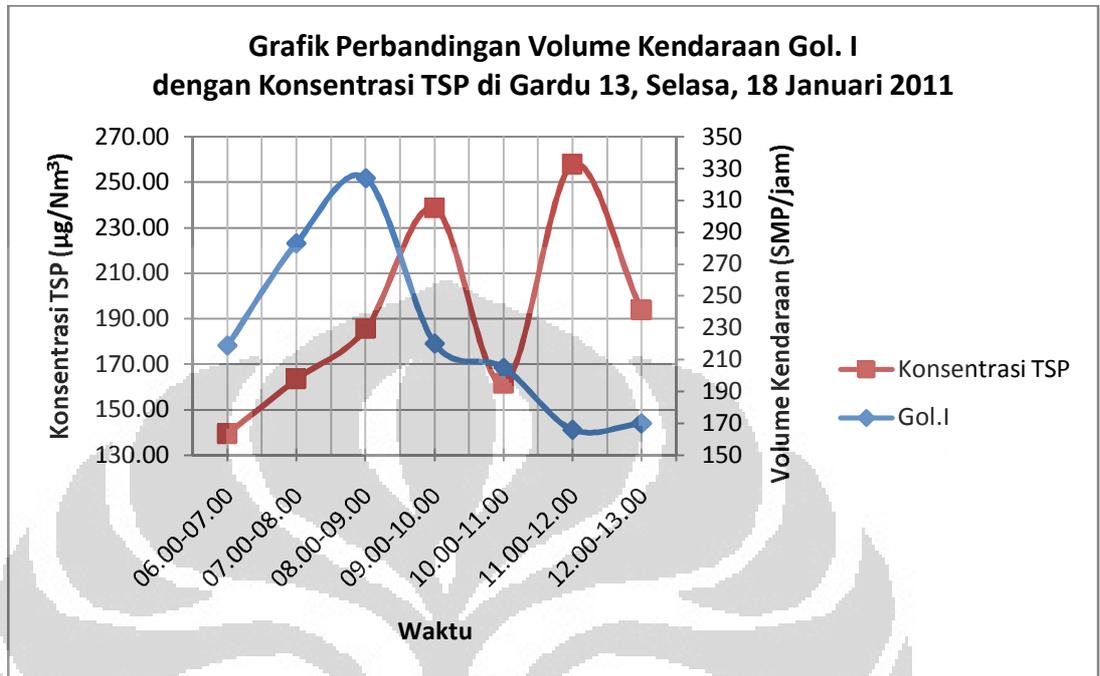


Gambar B.5 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Minggu, 27 Februari 2011

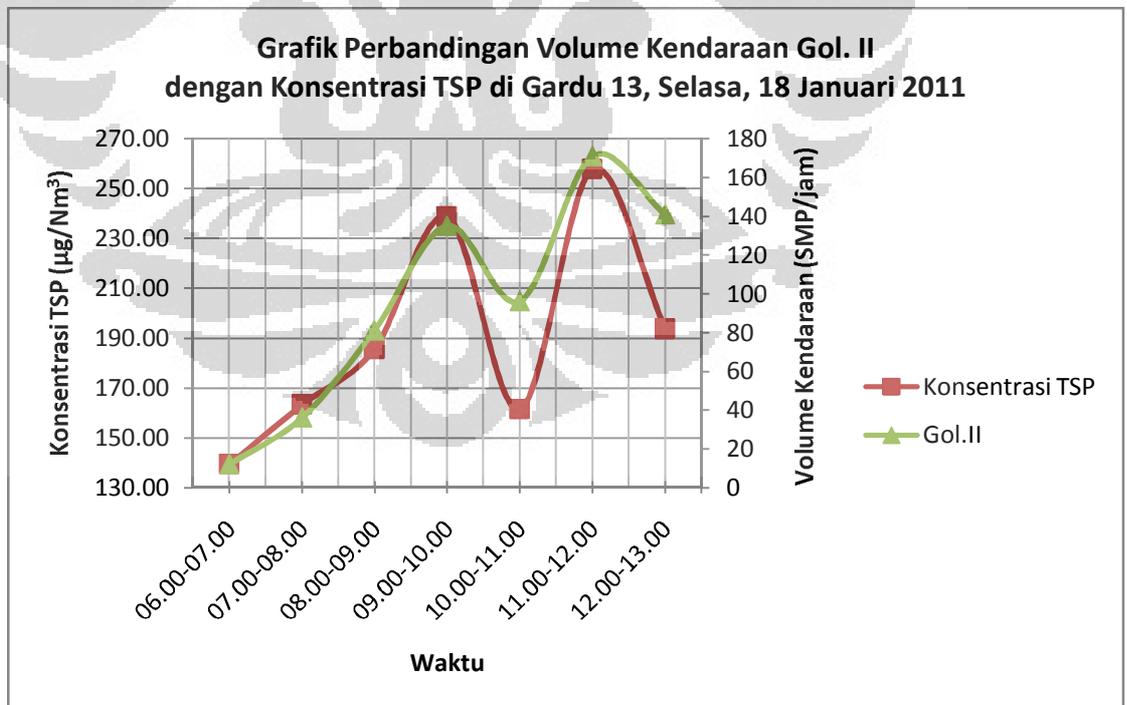


Gambar B.6 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Total dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 12 Minggu, 27 Februari 2011

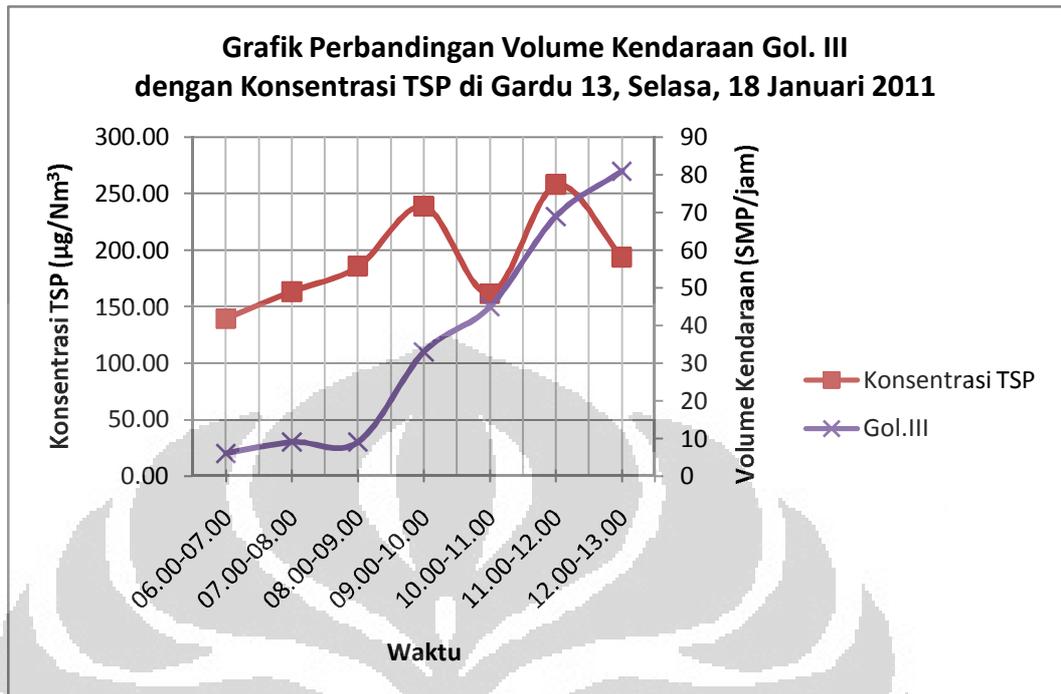
C. Gardu 13, Selasa, 18 Januari 2011



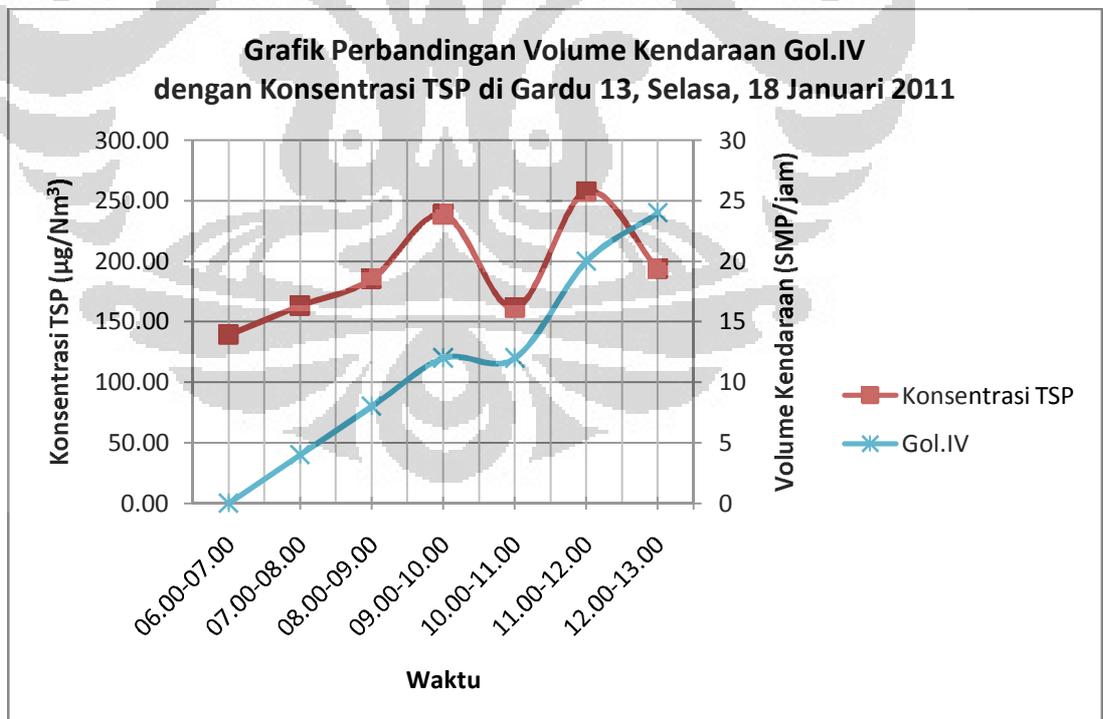
Gambar C.1 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13 Selasa, 18 Januari 2011



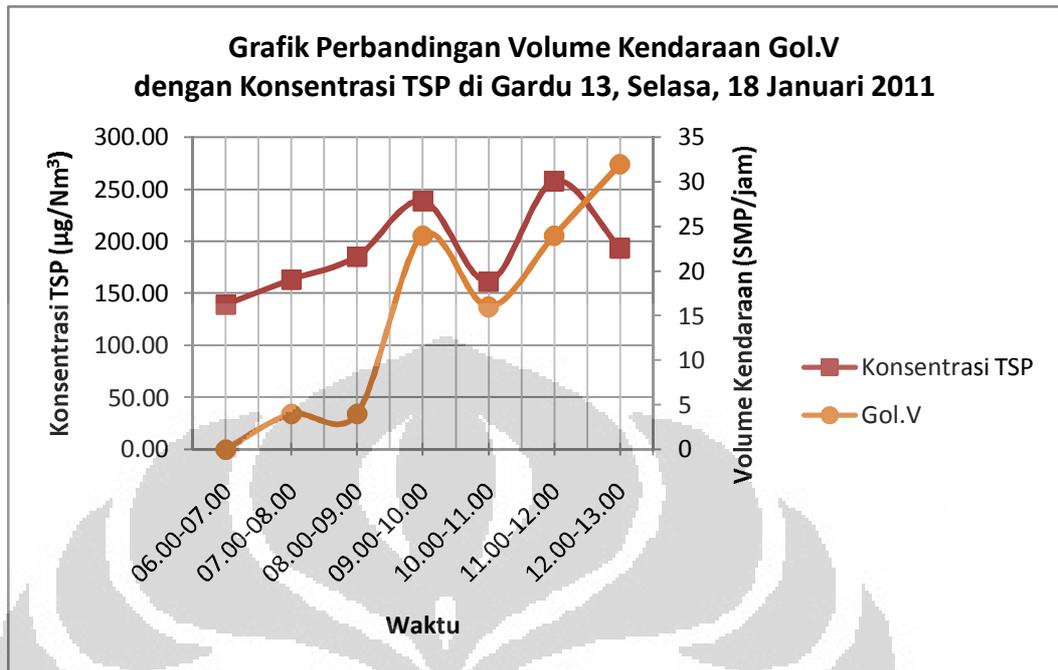
Gambar C.2 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan II dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13 Selasa, 18 Januari 2011



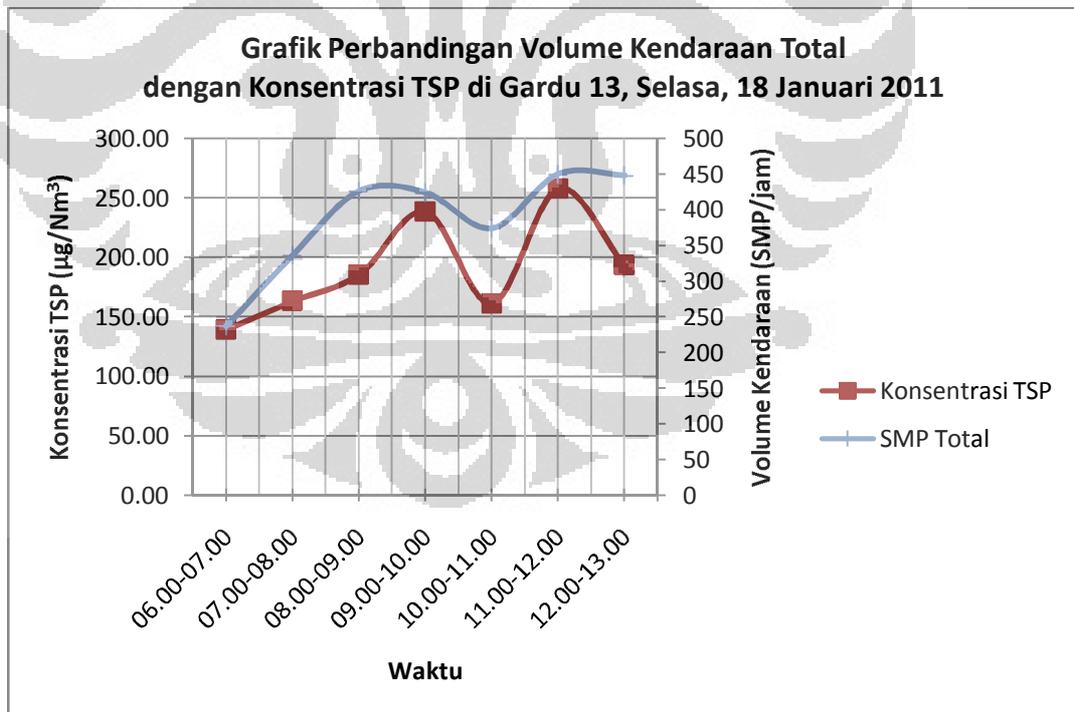
Gambar C.3 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan III dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13 Selasa, 18 Januari 2011



Gambar C.4 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan IV dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13 Selasa, 18 Januari 2011

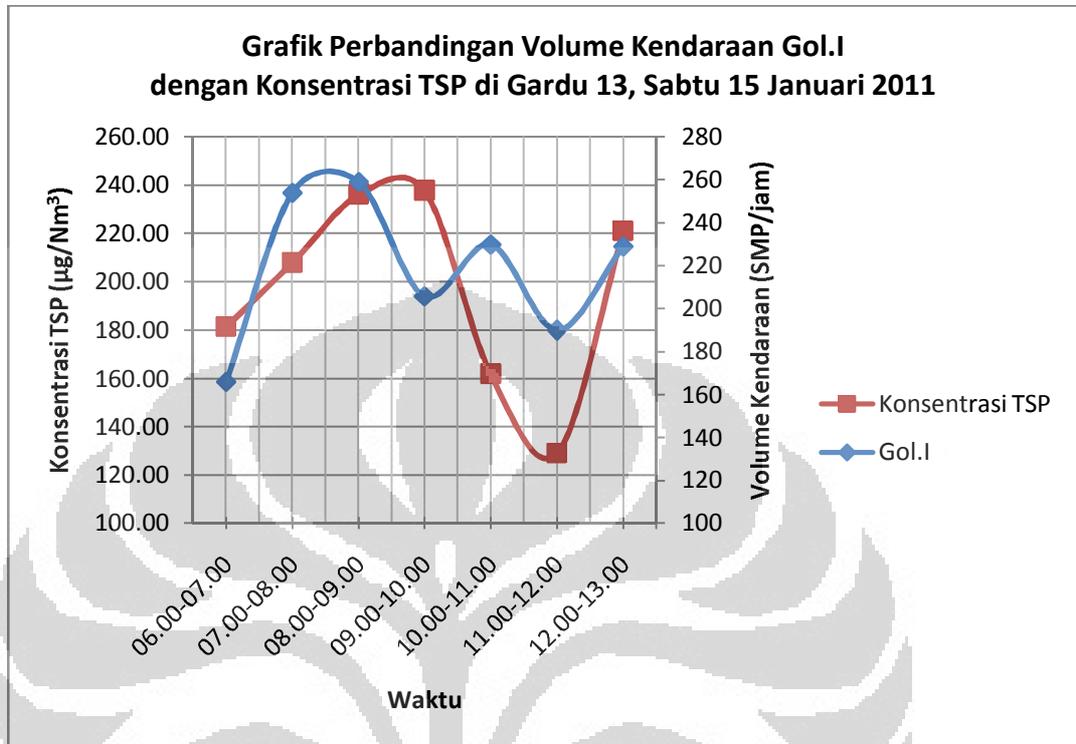


Gambar C.5 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13 Selasa, 18 Januari 2011

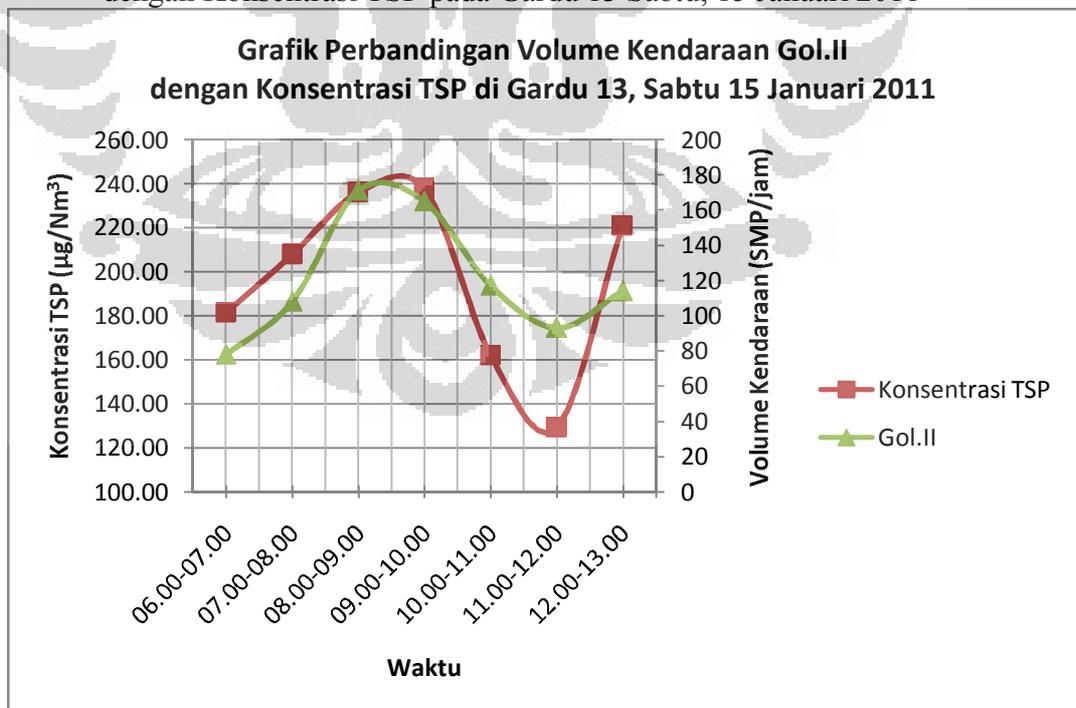


Gambar C.6 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Total dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13 Selasa, 18 Januari 2011

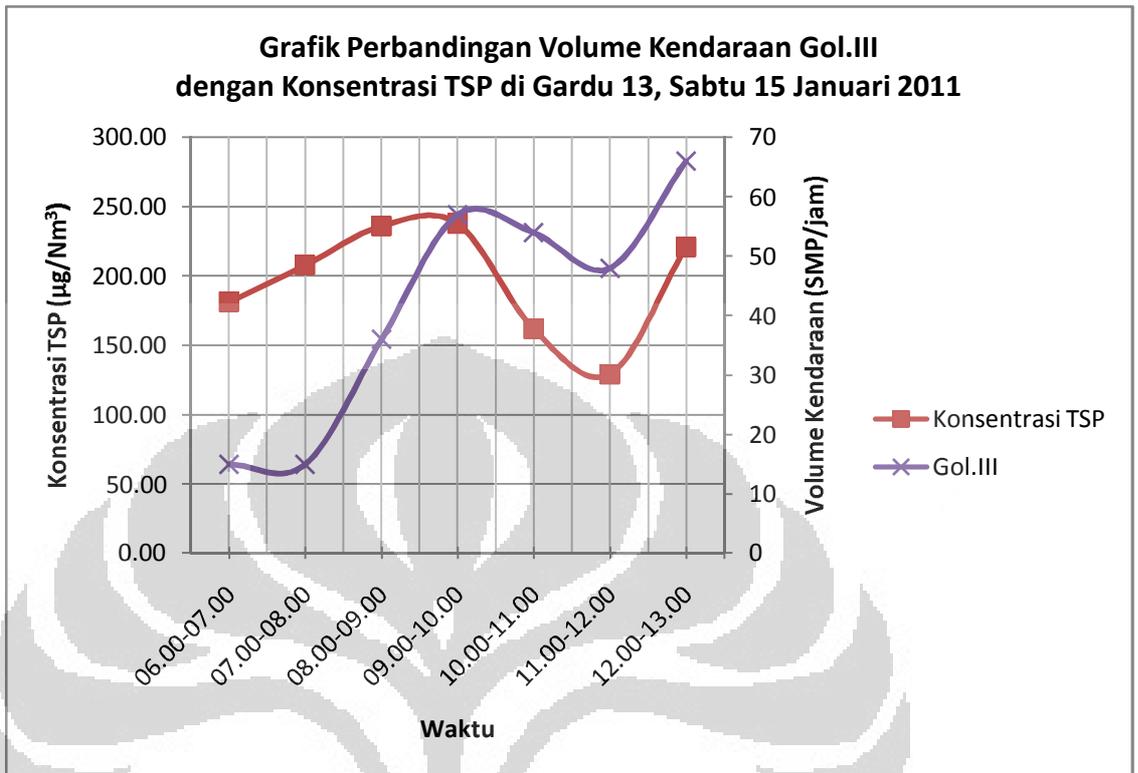
D. Gardu 13, Sabtu, 15 Januari 2011



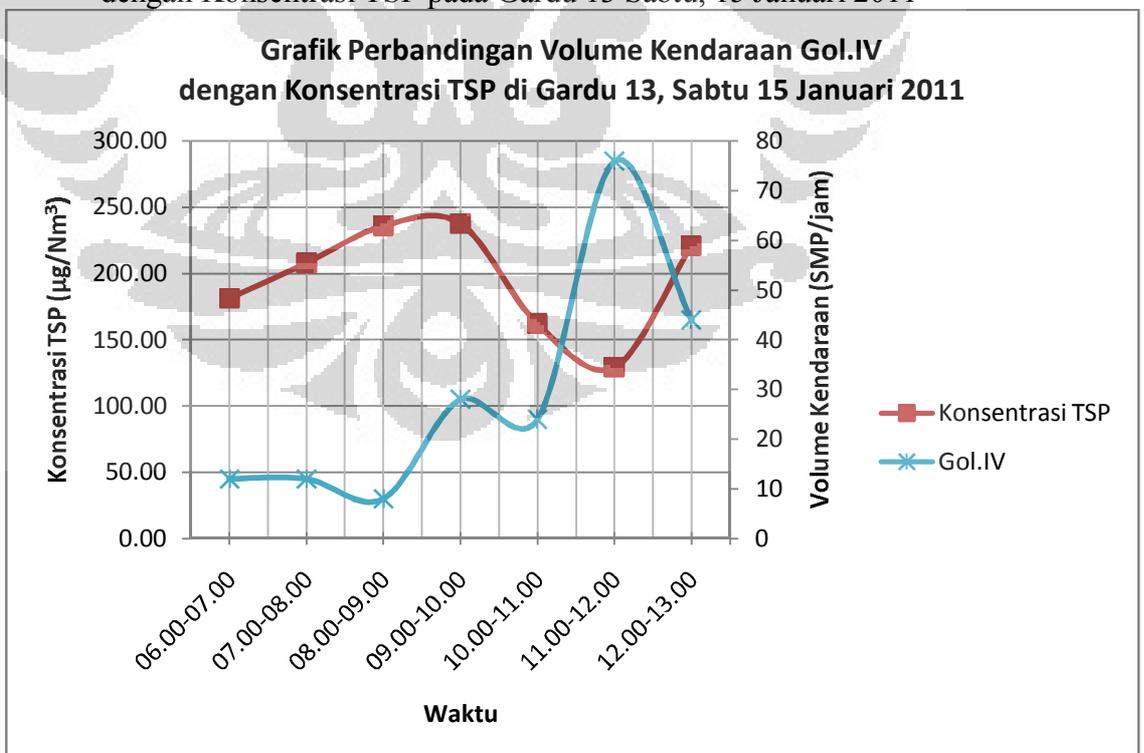
Gambar D.1 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13 Sabtu, 15 Januari 2011



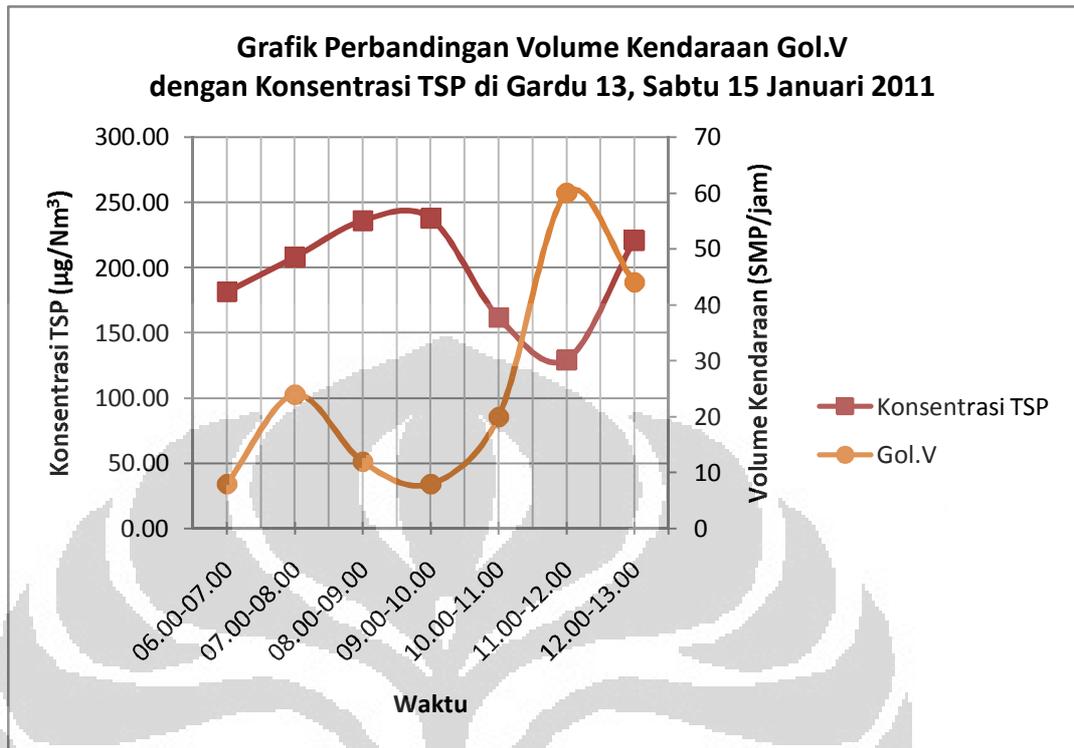
Gambar D.2 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan II dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13 Sabtu, 15 Januari 2011



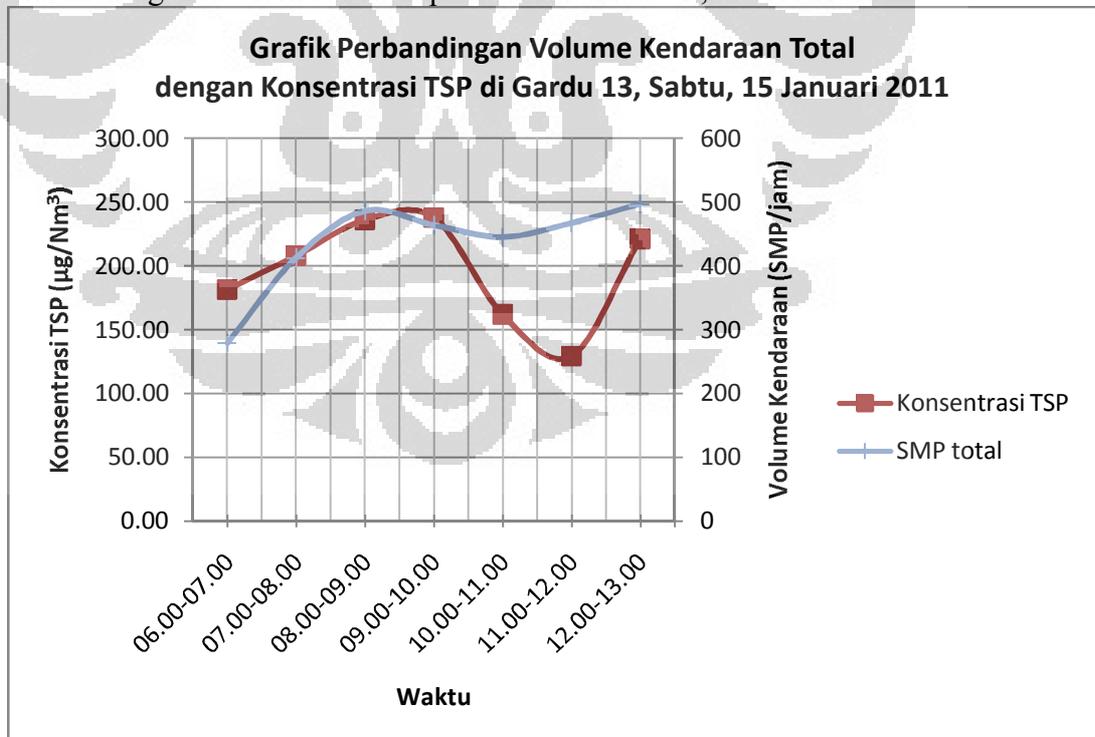
Gambar D.3 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan III dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13 Sabtu, 15 Januari 2011



Gambar D.4 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan IV dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13 Sabtu, 15 Januari 2011

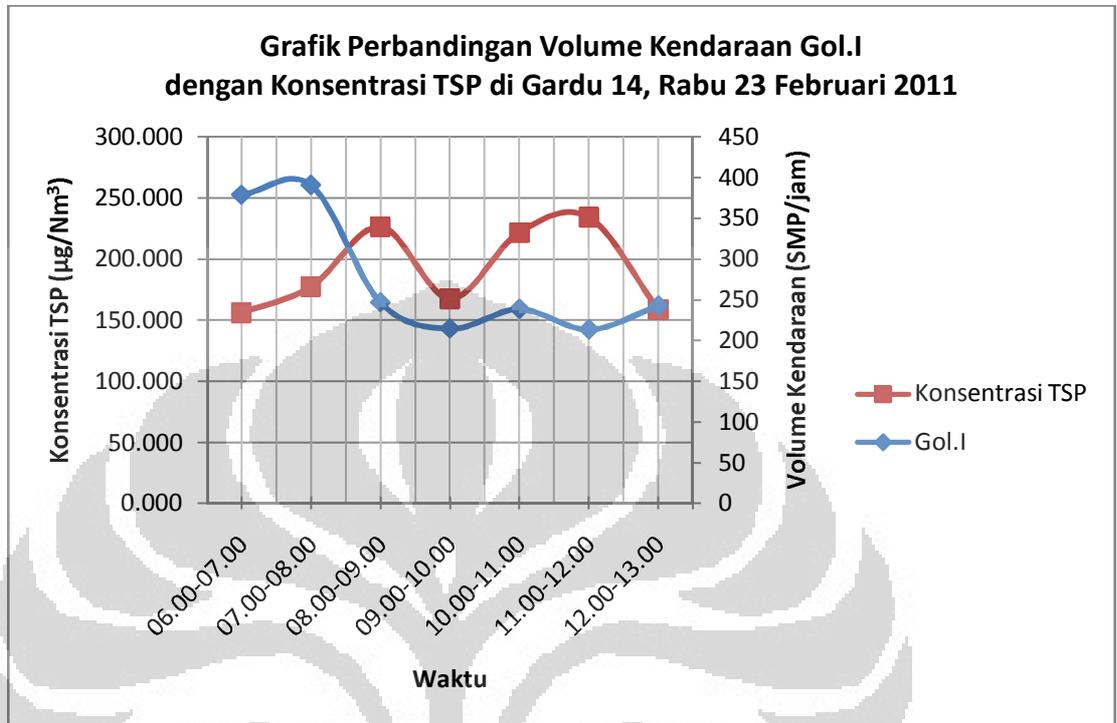


Gambar D.5 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13 Sabtu, 15 Januari 2011

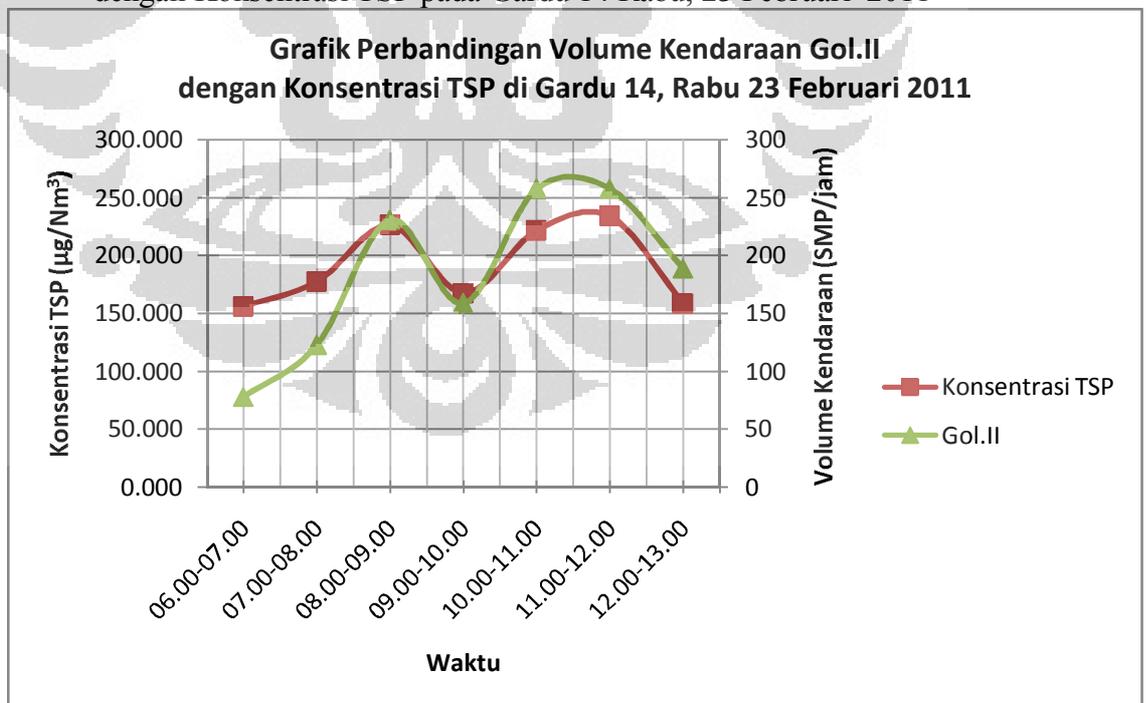


Gambar D.6 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Total dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 13 Sabtu, 15 Januari 2011

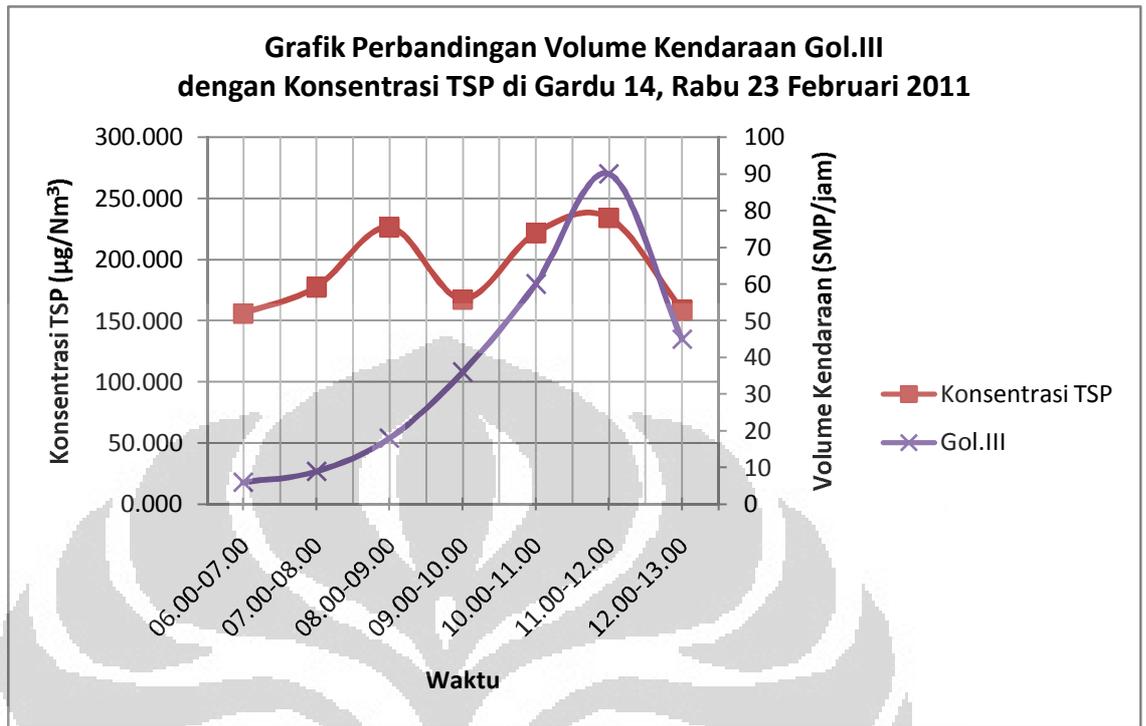
E. Gardu 14, Rabu, 23 Februari 2011



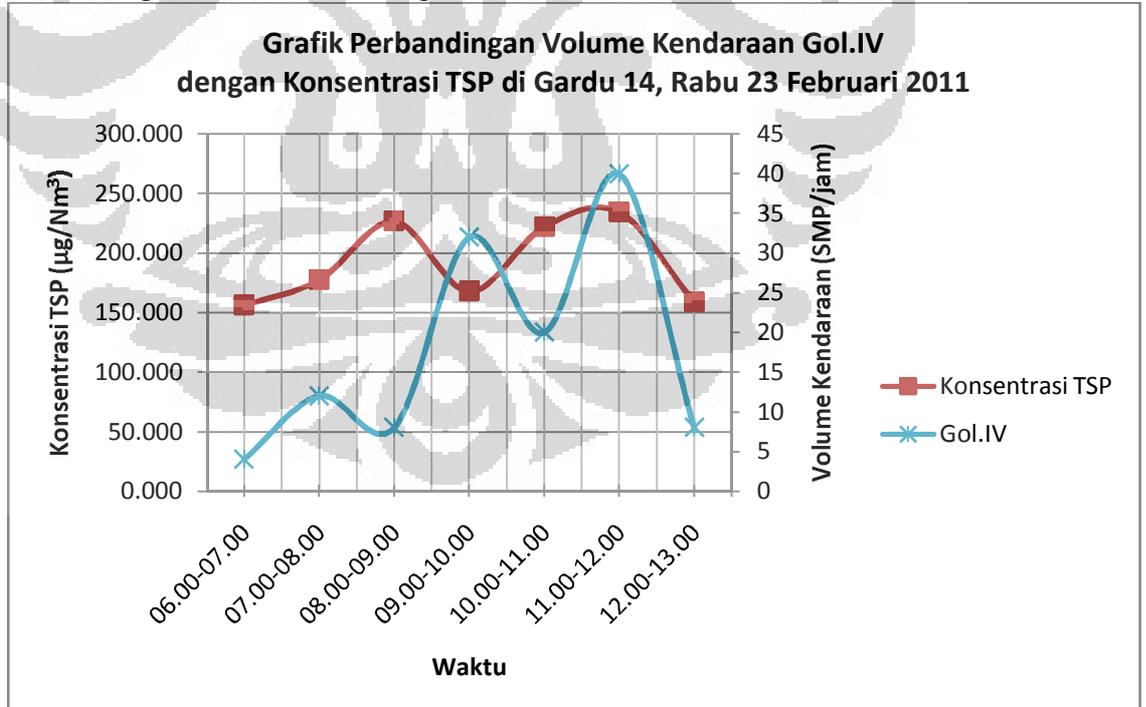
Gambar E.1 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14 Rabu, 23 Februari 2011



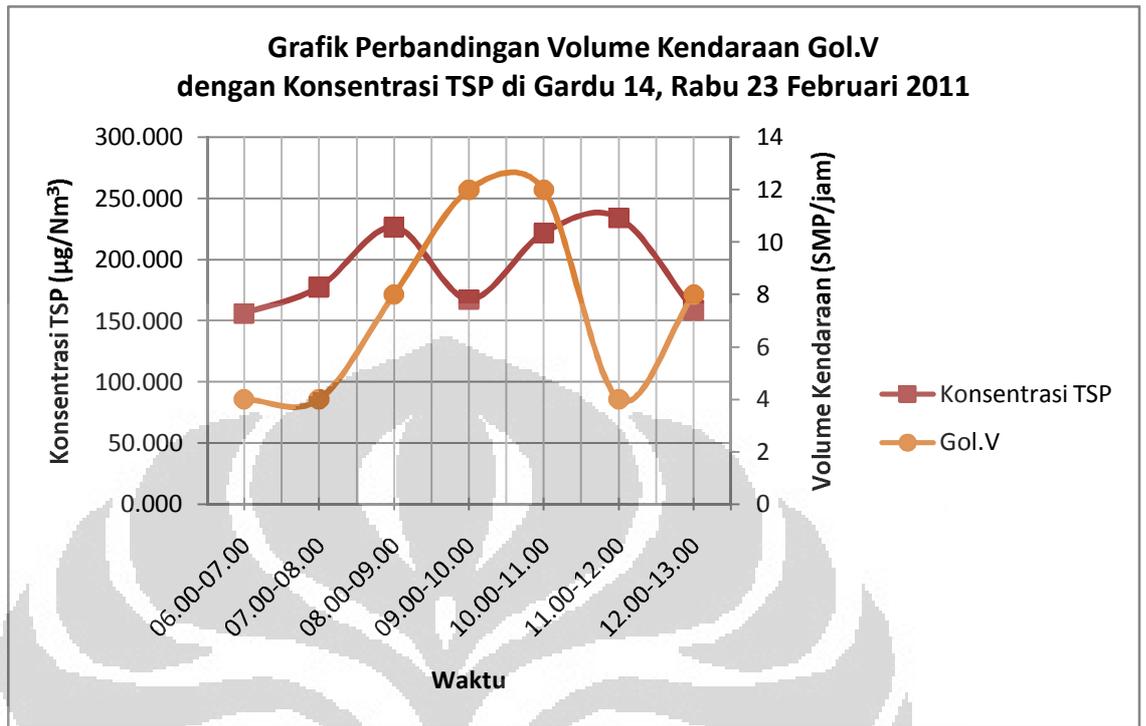
Gambar E.2 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan II dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14 Rabu, 23 Februari 2011



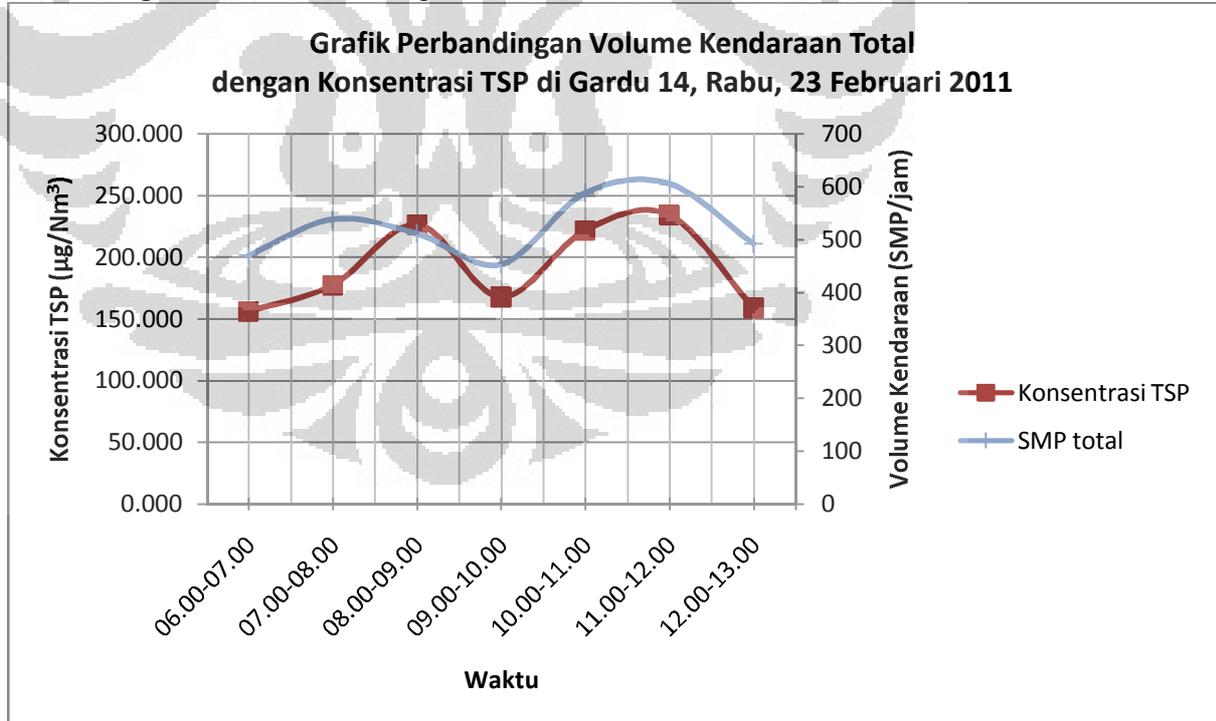
Gambar E.3 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan III dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14 Rabu, 23 Februari 2011



Gambar E.4 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan IV dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14 Rabu, 23 Februari 2011

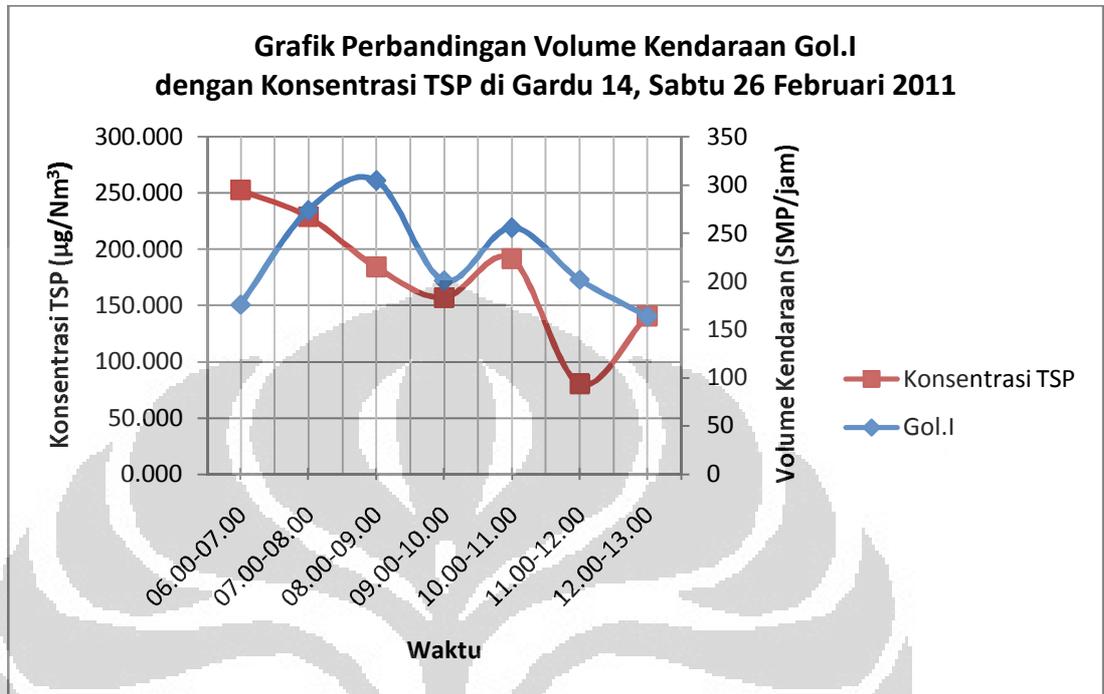


Gambar E.5 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14 Rabu, 23 Februari 2011

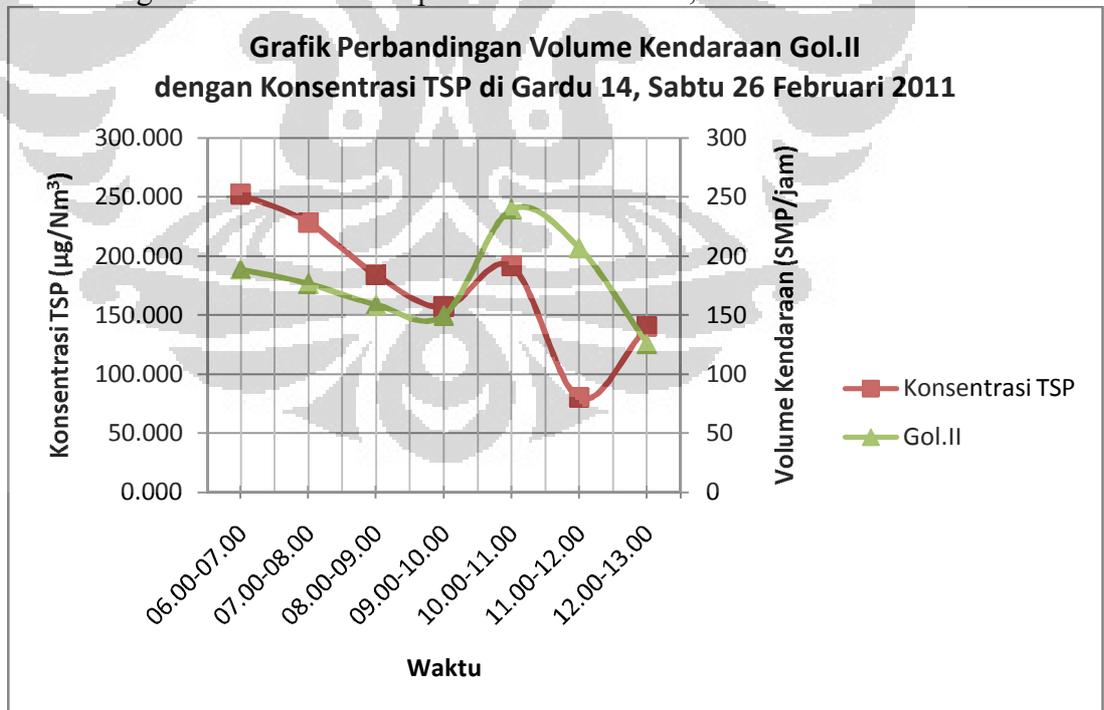


Gambar E.6 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Total dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14 Rabu, 23 Februari 2011

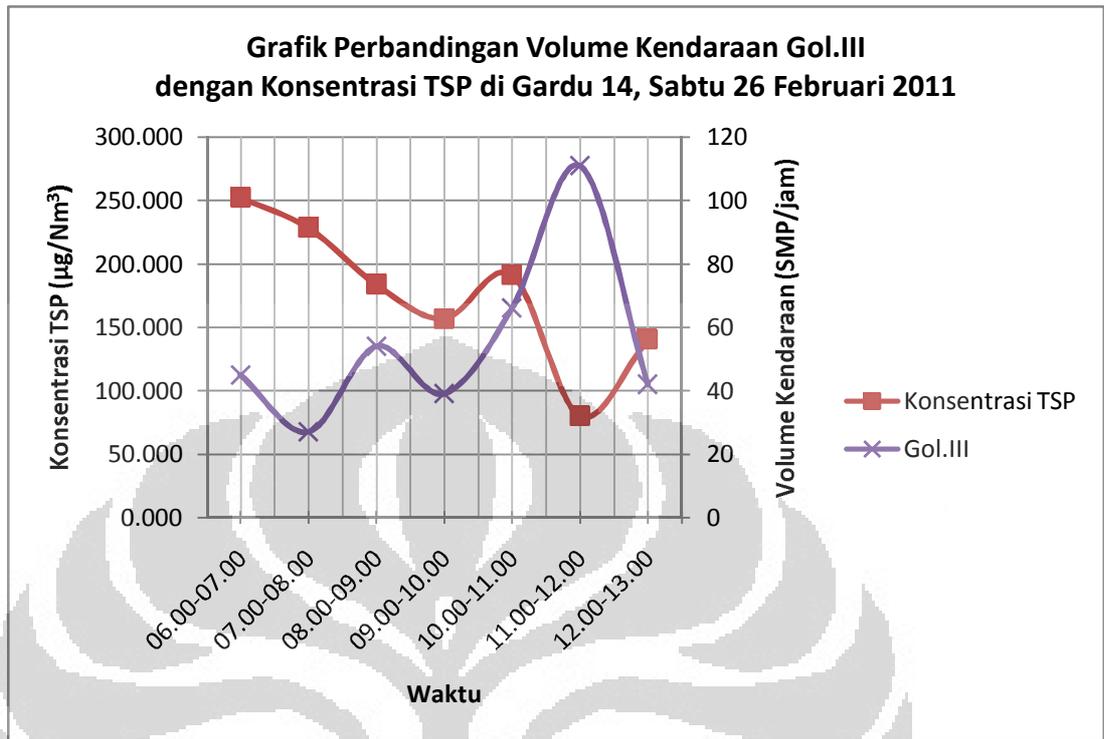
F. Gardu 14, Sabtu, 26 Februari 2011



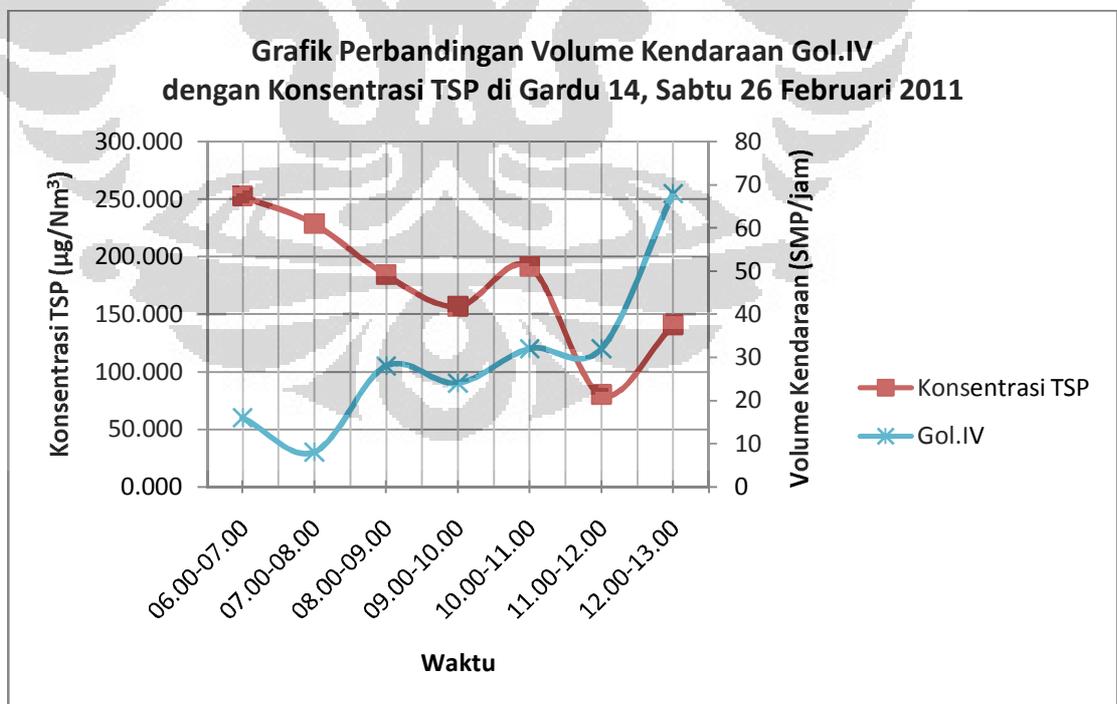
Gambar F.1 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan I dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14 Sabtu, 26 Februari 2011



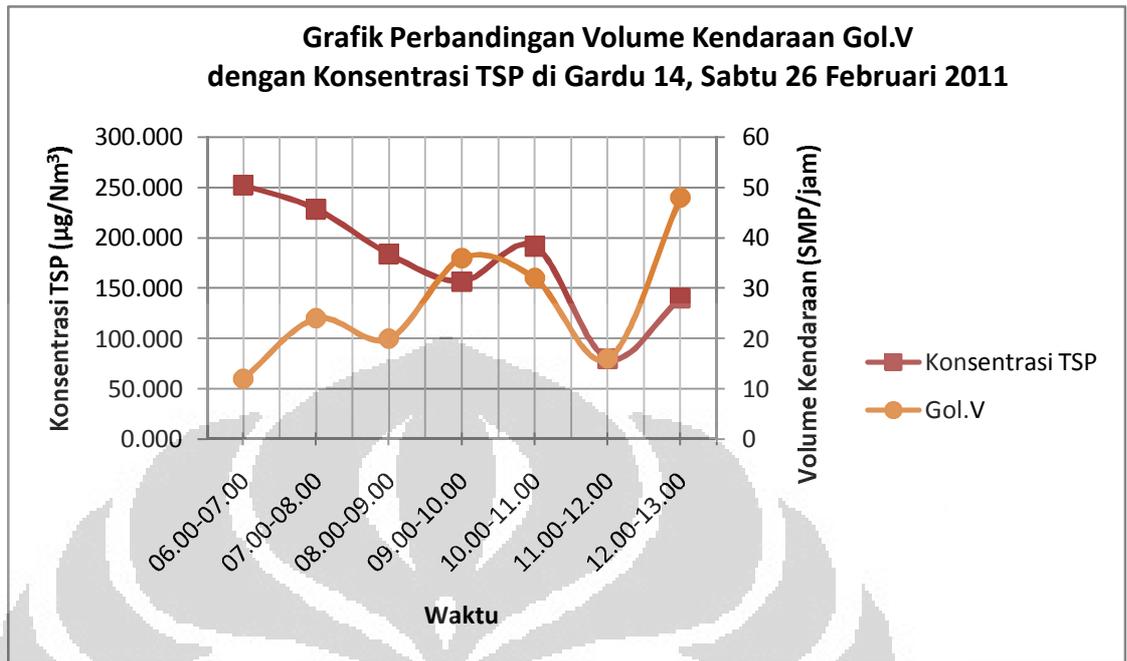
Gambar F.2 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan II dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14 Sabtu, 26 Februari 2011



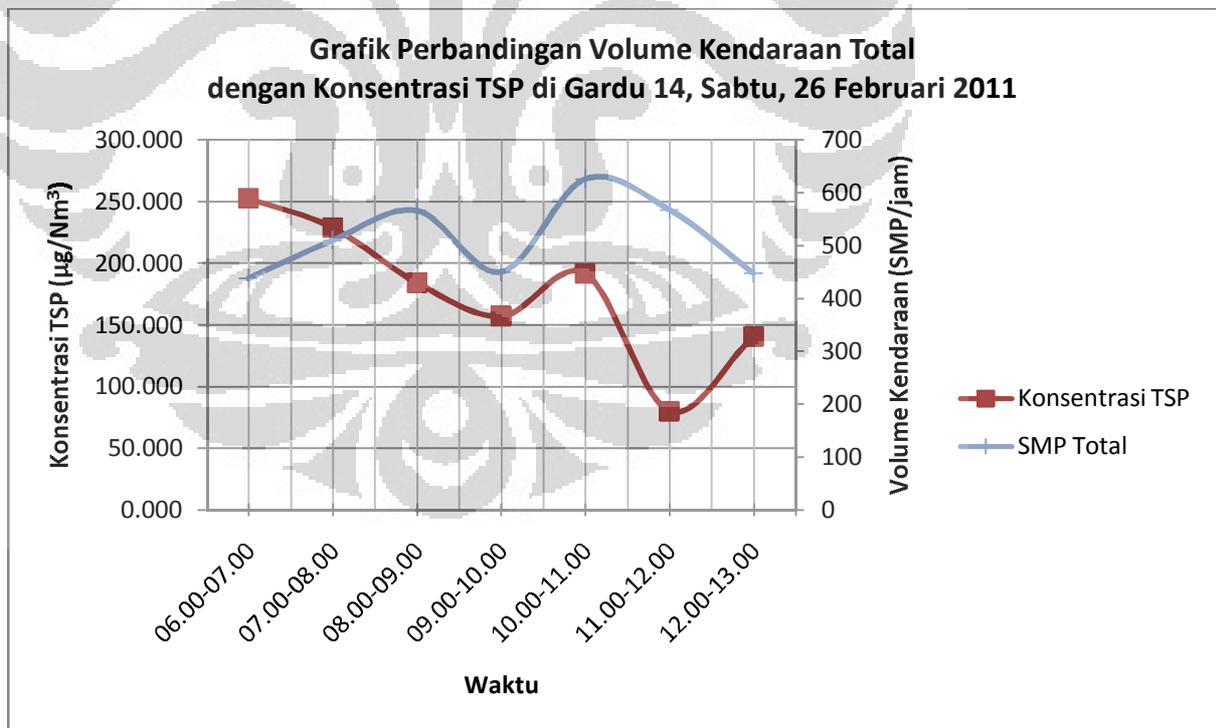
Gambar F.3 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan III dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14 Sabtu, 26 Februari 2011



Gambar F.4 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan IV dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14 Sabtu, 26 Februari 2011



Gambar F.5 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Golongan V dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14 Sabtu, 26 Februari 2011



Gambar F.6 Grafik Perbandingan antara Volume Kendaraan Total dengan Konsentrasi TSP pada Gardu 14 Sabtu, 26 Februari 2011



LAMPIRAN 7
Perhitungan Persamaan Regresi Linier
Sederhana dan Koefisien Korelasi antara
Volume Kendaraan Total Terhadap
Konsentrasi TSP

LAMPIRAN 7

Perhitungan Persamaan Regresi Linier Sederhana dan Koefisien Korelasi antara Volume Kendaraan Total Terhadap Konsentrasi TSP

X = Volume Kendaraan Total (SMP/jam)

Y = Konsentrasi TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

n	Hari/Tanggal	Waktu	Vol.Total (X)	Kons.TSP (Y)	X ²	Y ²	XY
1	Rabu, 12 Jan'11	06.00-07.00	345	255,5129	119025	65286,85	88151,95
2		07.00-08.00	441	315,8972	194481	99791,05	139310,7
3		08.00-09.00	471	382,1115	221841	146009,2	179974,5
4		09.00-10.00	400	292,5639	160000	85593,65	117025,6
5		10.00-11.00	478	296,0035	228484	87618,09	141489,7
6		11.00-12.00	473	447,5532	223729	200303,9	211692,7
7		12.00-13.00	546	495,6223	298116	245641,4	270609,8
8	Ming, 27 Feb'11	06.00-07.00	189	115,7501	35721	13398,09	21876,78
9		07.00-08.00	236	90,0053	55696	8100,955	21241,25
10		08.00-09.00	311	120,1969	96721	14447,3	37381,24
11		09.00-10.00	341	222,0645	116281	49312,64	75724
12		10.00-11.00	341	104,0685	116281	10830,25	35487,35
13		11.00-12.00	351	73,72023	123201	5434,673	25875,8
14		12.00-13.00	344	150,9532	118336	22786,86	51927,9
15	Selasa, 18 Jan'11	06.00-07.00	237	139,31	56169	19407,28	33016,48
16		07.00-08.00	336	163,2963	112896	26665,7	54867,57
17		08.00-09.00	426	185,5133	181476	34415,19	79028,67
18		09.00-10.00	424	238,7016	179776	56978,45	101209,5
19		10.00-11.00	374	161,3633	139876	26038,12	60349,88
20		11.00-12.00	450	257,7546	202500	66437,43	115989,6
21		12.00-13.00	448	193,5983	200704	37480,29	86732,02
22	Sabtu, 15 Jan'11	06.00-07.00	279	181,432	77841	32917,56	50619,52
23		07.00-08.00	413	207,9835	170569	43257,13	85897,18
24		08.00-09.00	486	236,106	236196	55746,07	114747,5
25		09.00-10.00	464	237,8139	215296	56555,43	110345,6
26		10.00-11.00	445	162,0276	198025	26252,94	72102,28
27		11.00-12.00	467	129,2512	218089	16705,86	60360,29
28		12.00-13.00	497	221,003	247009	48842,32	109838,5

(Lanjutan Lampiran 7)

n	Hari/Tanggal	Waktu	Vol.Total (X)	Kons.TSP (Y)	X ²	Y ²	XY
29	Rabu, 23 Feb'11	06.00-07.00	471	155,9779	221841	24329,1	73465,58
30		07.00-08.00	539	177,414	290521	31475,73	95626,15
31		08.00-09.00	512	226,5227	262144	51312,54	115979,6
32		09.00-10.00	454	167,5913	206116	28086,84	76086,44
33		10.00-11.00	589	221,8262	346921	49206,88	130655,7
34		11.00-12.00	606	234,1784	367236	54839,54	141912,1
35		12.00-13.00	493	158,8077	243049	25219,89	78292,2
36	Sabtu, 26 Feb'11	06.00-07.00	438	252,5042	191844	63758,39	110596,9
37		07.00-08.00	510	228,7513	260100	52327,15	116663,2
38		08.00-09.00	566	184,1771	320356	33921,19	104244,2
39		09.00-10.00	450	156,881	202500	24611,64	70596,44
40		10.00-11.00	626	191,5852	391876	36704,89	119932,3
41		11.00-12.00	568	80,10541	322624	6416,877	45499,87
42		12.00-13.00	448	140,4582	200704	19728,51	62925,28
		Σ	18283	8653,959	8372167	2104194	3895350

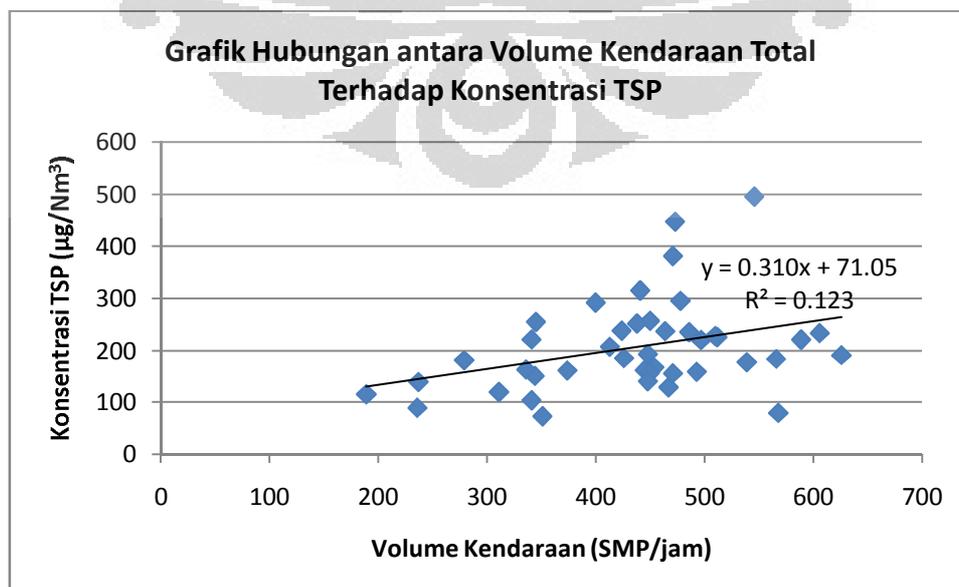
$$m = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{42(3895350) - (18283)(8653,959)}{42(8372167) - (18283)^2} = 0,310$$

$$b = \frac{n \sum x^2 \sum y - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{42(8372167)(8653,959) - (18283)(3895350)}{42(8372167) - (18283)^2} = 71,05$$

$$Y = mx \pm b \rightarrow Y = 0,310 X + 71,05$$

$$R = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} = \frac{42(3895350) - (18283)(8653,959)}{\sqrt{(42(8372167) - (18283)^2)(42(2104194) - (8653,959)^2)}} = 0,351$$

$$R = 0,351$$





LAMPIRAN 8
Cara Perhitungan Persamaan Regresi Linier
Berganda dan Koefisien Korelasi

Cara Perhitungan Persamaan Regresi Linier Berganda dan Koefisien Korelasi

A. Cara Perhitungan Persamaan Regresi Linier Berganda untuk Penentuan Faktor Kontribusi TSP Pada Udara Ambient Tiap Satuan Mobil Penumpang

$$\hat{Y} = b_1X_1 + b_2X_2 + a$$

Y = Konsentrasi TSP di udara ambient ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

X₁ = Volume kendaraan berbahan bakar bensin, golongan I (SMP)

X₂ = Volume kendaraan berbahan bakar solar, gabungan golongan II, III, IV, dan V (SMP)

n	X ₁	X ₂	Y
1	210	135	255.5129
2	259	182	315.8972
3	216	255	382.1115
4	209	191	292.5639
5	246	232	296.0035
6	219	254	447.5532
7	190	356	495.6223
8	109	80	115.7501
9	155	81	90.0053
10	199	112	120.1969
11	167	174	222.0645
12	184	157	104.0685
13	227	124	73.72023
14	177	167	150.9532
15	219	18	139.31
16	283	53	163.2963
17	324	102	185.5133
18	220	204	238.7016
19	205	169	161.3633
20	166	284	257.7546
21	170	278	193.5983
22	166	113	181.432
23	254	159	207.9835
24	259	227	236.106
25	206	258	237.8139
26	230	215	162.0276
27	190	277	129.2512
28	229	268	221.003
29	379	92	155.9779
30	391	148	177.414
31	247	265	226.5227
32	215	239	167.5913
33	239	350	221.8262
34	214	392	234.1784
35	243	250	158.8077
36	176	262	252.5042
37	274	236	228.7513
38	305	261	184.1771
39	201	249	156.881
40	256	370	191.5852
41	202	366	80.10541
42	164	284	140.4582
Σ	9394	8889	8653.959

(Lanjutan Lampiran 8)

n	X_1^2	X_2^2	X_1X_2
1	44100	18225	28350
2	67081	33124	47138
3	46656	65025	55080
4	43681	36481	39919
5	60516	53824	57072
6	47961	64516	55626
7	36100	126736	67640
8	11881	6400	8720
9	24025	6561	12555
10	39601	12544	22288
11	27889	30276	29058
12	33856	24649	28888
13	51529	15376	28148
14	31329	27889	29559
15	47961	324	3942
16	80089	2809	14999
17	104976	10404	33048
18	48400	41616	44880
19	42025	28561	34645
20	27556	80656	47144
21	28900	77284	47260

22	27556	12769	18758
23	64516	25281	40386
24	67081	51529	58793
25	42436	66564	53148
26	52900	46225	49450
27	36100	76729	52630
28	52441	71824	61372
29	143641	8464	34868
30	152881	21904	57868
31	61009	70225	65455
32	46225	57121	51385
33	57121	122500	83650
34	45796	153664	83888
35	59049	62500	60750
36	30976	68644	46112
37	75076	55696	64664
38	93025	68121	79605
39	40401	62001	50049
40	65536	136900	94720
41	40804	133956	73932
42	26896	80656	46576
Σ	2227578	2216553	1964018

n	X_1Y	X_2Y
1	53657.71	34494.24
2	81817.38	57493.29
3	82536.09	97438.44
4	61145.86	55879.71
5	72816.87	68672.82
6	98014.15	113678.5
7	94168.23	176441.5
8	12616.76	9260.011
9	13950.82	7290.43
10	23919.19	13462.05
11	37084.77	38639.22
12	19148.6	16338.75
13	16734.49	9141.309
14	26718.71	25209.18

15	30508.9	2507.58
16	46212.87	8654.706
17	60106.31	18922.36
18	52514.35	48695.12
19	33079.48	27270.4
20	42787.26	73202.31
21	32911.71	53820.32
22	30117.71	20501.81
23	52827.81	33069.37
24	61151.47	53596.07
25	48989.65	61355.97
26	37266.35	34835.93
27	24557.72	35802.57
28	50609.69	59228.8
29	59115.61	14349.96

30	69368.87	26257.27
31	55951.11	60028.52
32	36032.12	40054.32
33	53016.47	77639.19
34	50114.19	91797.95
35	38590.27	39701.93
36	44440.75	66156.11
37	62677.85	53985.3
38	56174	48070.21
39	31533.08	39063.36
40	49045.81	70886.52
41	16181.29	29318.58
42	23035.15	39890.14
Σ	1943247	1952102

(Lanjutan Lampiran 8)

Nilai a , b_1 , dan b_2 didapat dengan menyelesaikan ketiga persamaan berikut

$$\Sigma Y = an + b_1 \Sigma X_1 + b_2 \Sigma X_2$$

$$\Sigma X_1 Y = a \Sigma X_1 + b_1 \Sigma X_1^2 + b_2 \Sigma X_1 X_2$$

$$\Sigma X_2 Y = a \Sigma X_2 + b_1 \Sigma X_1 X_2 + b_2 \Sigma X_2^2$$

Dengan memasukkan nilai-nilai yang dibutuhkan, didapat tiga buah persamaan sebagai berikut.

$$8653,959 = 42 a + 9394 b_1 + 8889 b_2$$

$$1943247 = 9394 a + 2227578 b_1 + 1964018 b_2$$

$$1952102 = 8889 a + 1964018 b_1 + 2216553 b_2$$

Untuk lebih memudahkan proses perhitungan, penyelesain ketiga persamaan tersebut dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab R2009a. Perintah yang digunakan adalah sebagai berikut.

```
f>> [a,b1,b2] = solve ('42*a+ 9394*b1 + 8889*b2 = 8653,959', '9394*a + 2227578*b1 + 1964018*b2 = 1943247', '8889*a + 1964018*b1 + 2216553*b2 = 1952102')
```

Dari perhitungan tersebut kemudian didapatkan hasil sebagai berikut:

$$a = 98,659 ; b_1 = 0,131 ; b_2 = 0,369$$

Sehingga didapat persamaan regresi linier berganda sebagai berikut.

$$Y = 0,131 X_1 + 0,369 X_2 + 98,659$$

(Lanjutan Lampiran 8)

B. Cara Perhitungan Persamaan Regresi Linier Berganda dan Koefisien Korelasi antara Volume Kendaraan Tiap Golongan Terhadap Konsentrasi TSP

$$\hat{Y} = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + b$$

Y = Konsentrasi TSP di udara ambien

X₁ = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan I yang melintasi pintu tol

X₂ = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan II yang melintasi pintu tol

X₃ = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan III yang melintasi pintu tol

X₄ = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan IV yang melintasi pintu tol

X₅ = Volume lalu lintas kendaraan tipe golongan V yang melintasi pintu tol

n	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y	30	391	123	9	12	4	177,414
1	210	99	24	8	4	255,5129	31	247	231	18	8	8	226,5227
2	259	126	36	12	8	315,8972	32	215	159	36	32	12	167,5913
3	216	201	30	16	8	382,1115	33	239	258	60	20	12	221,8262
4	209	132	27	20	12	292,5639	34	214	258	90	40	4	234,1784
5	246	165	39	20	8	296,0035	35	243	189	45	8	8	158,8077
6	219	147	51	44	12	447,5532	36	176	189	45	16	12	252,5042
7	190	225	75	40	16	495,6223	37	274	177	27	8	24	228,7513
8	109	45	27	0	8	115,7501	38	305	159	54	28	20	184,1771
9	155	45	12	12	12	90,0053	39	201	150	39	24	36	156,881
10	199	57	27	16	12	120,1969	40	256	240	66	32	32	191,5852
11	167	102	48	12	12	222,0645	41	202	207	111	32	16	80,10541
12	184	57	60	24	16	104,0685	42	164	126	42	68	48	140,4582
13	227	39	57	28	0	73,72023	Σ	9394	5562	1779	892	656	8653,959
14	177	60	75	24	8	150,9532							
15	219	12	6	0	0	139,31							
16	283	36	9	4	4	163,2963							
17	324	81	9	8	4	185,5133							
18	220	135	33	12	24	238,7016							
19	205	96	45	12	16	161,3633							
20	166	171	69	20	24	257,7546							
21	170	141	81	24	32	193,5983							
22	166	78	15	12	8	181,432							
23	254	108	15	12	24	207,9835							
24	259	171	36	8	12	236,106							
25	206	165	57	28	8	237,8139							
26	230	117	54	24	20	162,0276							
27	190	93	48	76	60	129,2512							
28	229	114	66	44	44	221,003							
29	379	78	6	4	4	155,9779							

(Lanjutan Lampiran 8)

n	X ₁ Y	X ₂ Y	X ₃ Y	X ₄ Y	X ₅ Y	x ₁ ²	x ₂ ²	x ₃ ²	x ₄ ²	x ₅ ²
1	53657,71	25295,78	6132,31	2044,103	1022,052	44100	9801	576	64	16
2	81817,38	39803,05	11372,3	3790,767	2527,178	67081	15876	1296	144	64
3	82536,09	76804,42	11463,35	6113,784	3056,892	46656	40401	900	256	64
4	61145,86	38618,44	7899,226	5851,279	3510,767	43681	17424	729	400	144
5	72816,87	48840,58	11544,14	5920,071	2368,028	60516	27225	1521	400	64
6	98014,15	65790,32	22825,21	19692,34	5370,638	47961	21609	2601	1936	144
7	94168,23	111515	37171,67	19824,89	7929,956	36100	50625	5625	1600	256
8	12616,76	5208,756	3125,254	0	926,0011	11881	2025	729	0	64
9	13950,82	4050,239	1080,064	1080,064	1080,064	24025	2025	144	144	144
10	23919,19	6851,224	3245,317	1923,151	1442,363	39601	3249	729	256	144
11	37084,77	22650,58	10659,1	2664,774	2664,774	27889	10404	2304	144	144
12	19148,6	5931,903	6244,109	2497,644	1665,096	33856	3249	3600	576	256
13	16734,49	2875,089	4202,053	2064,167	0	51529	1521	3249	784	0
14	26718,71	9057,191	11321,49	3622,876	1207,625	31329	3600	5625	576	64
15	30508,9	1671,72	835,8601	0	0	47961	144	36	0	0
16	46212,87	5878,668	1469,667	653,1854	653,1854	80089	1296	81	16	16
17	60106,31	15026,58	1669,62	1484,107	742,0533	104976	6561	81	64	16
18	52514,35	32224,71	7877,152	2864,419	5728,838	48400	18225	1089	144	576
19	33079,48	15490,88	7261,349	1936,36	2581,813	42025	9216	2025	144	256
20	42787,26	44076,04	17785,07	5155,092	6186,11	27556	29241	4761	400	576
21	32911,71	27297,36	15681,46	4646,358	6195,145	28900	19881	6561	576	1024
22	30117,71	14151,69	2721,48	2177,184	1451,456	27556	6084	225	144	64
23	52827,81	22462,22	3119,752	2495,802	4991,604	64516	11664	225	144	576
24	61151,47	40374,13	8499,818	1888,848	2833,273	67081	29241	1296	64	144
25	48989,65	39239,29	13555,39	6658,788	1902,511	42436	27225	3249	784	64
26	37266,35	18957,23	8749,49	3888,662	3240,552	52900	13689	2916	576	400
27	24557,72	12020,36	6204,056	9823,088	7755,069	36100	8649	2304	5776	3600
28	50609,69	25194,34	14586,2	9724,132	9724,132	52441	12996	4356	1936	1936
29	59115,61	12166,27	935,8672	623,9115	623,9115	143641	6084	36	16	16
30	69368,87	21821,92	1596,726	2128,968	709,656	152881	15129	81	144	16
31	55951,11	52326,75	4077,409	1812,182	1812,182	61009	53361	324	64	64
32	36032,12	26647,01	6033,286	5362,921	2011,095	46225	25281	1296	1024	144
33	53016,47	57231,17	13309,57	4436,525	2661,915	57121	66564	3600	400	144
34	50114,19	60418,04	21076,06	9367,138	936,7138	45796	66564	8100	1600	16
35	38590,27	30014,66	7146,347	1270,462	1270,462	59049	35721	2025	64	64
36	44440,75	47723,3	11362,69	4040,068	3030,051	30976	35721	2025	256	144
37	62677,85	40488,98	6176,285	1830,01	5490,031	75076	31329	729	64	576
38	56174	29284,15	9945,561	5156,958	3683,541	93025	25281	2916	784	400

(Lanjutan Lampiran 8)

n	X_1Y	X_2Y	X_3Y	X_4Y	X_5Y	x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_4^2	x_5^2
39	31533,08	23532,15	6118,358	3765,143	5647,715	40401	22500	1521	576	1296
40	49045,81	45980,45	12644,62	6130,726	6130,726	65536	57600	4356	1024	1024
41	16181,29	16581,82	8891,701	2563,373	1281,687	40804	42849	12321	1024	256
42	23035,15	17697,74	5899,245	9551,159	6741,995	26896	15876	1764	4624	2304
Σ	1943247	1259272	373515,7	188525,5	130788,9	2227578	903006	99927	29712	17280

n	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_1x_5	x_2x_3	x_2x_4	x_2x_5	x_3x_4	x_3x_5	x_4x_5
1	20790	5040	1680	840	2376	792	396	192	96	32
2	32634	9324	3108	2072	4536	1512	1008	432	288	96
3	43416	6480	3456	1728	6030	3216	1608	480	240	128
4	27588	5643	4180	2508	3564	2640	1584	540	324	240
5	40590	9594	4920	1968	6435	3300	1320	780	312	160
6	32193	11169	9636	2628	7497	6468	1764	2244	612	528
7	42750	14250	7600	3040	16875	9000	3600	3000	1200	640
8	4905	2943	0	872	1215	0	360	0	216	0
9	6975	1860	1860	1860	540	540	540	144	144	144
10	11343	5373	3184	2388	1539	912	684	432	324	192
11	17034	8016	2004	2004	4896	1224	1224	576	576	144
12	10488	11040	4416	2944	3420	1368	912	1440	960	384
13	8853	12939	6356	0	2223	1092	0	1596	0	0
14	10620	13275	4248	1416	4500	1440	480	1800	600	192
15	2628	1314	0	0	72	0	0	0	0	0
16	10188	2547	1132	1132	324	144	144	36	36	16
17	26244	2916	2592	1296	729	648	324	72	36	32
18	29700	7260	2640	5280	4455	1620	3240	396	792	288
19	19680	9225	2460	3280	4320	1152	1536	540	720	192
20	28386	11454	3320	3984	11799	3420	4104	1380	1656	480
21	23970	13770	4080	5440	11421	3384	4512	1944	2592	768
22	12948	2490	1992	1328	1170	936	624	180	120	96
23	27432	3810	3048	6096	1620	1296	2592	180	360	288
24	44289	9324	2072	3108	6156	1368	2052	288	432	96
25	33990	11742	5768	1648	9405	4620	1320	1596	456	224
26	26910	12420	5520	4600	6318	2808	2340	1296	1080	480
27	17670	9120	14440	11400	4464	7068	5580	3648	2880	4560
28	26106	15114	10076	10076	7524	5016	5016	2904	2904	1936
29	29562	2274	1516	1516	468	312	312	24	24	16

(Lanjutan Lampiran 8)

n	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_1x_5	x_2x_3	x_2x_4	x_2x_5	x_3x_4	x_3x_5	x_4x_5
30	48093	3519	4692	1564	1107	1476	492	108	36	48
31	57057	4446	1976	1976	4158	1848	1848	144	144	64
32	34185	7740	6880	2580	5724	5088	1908	1152	432	384
33	61662	14340	4780	2868	15480	5160	3096	1200	720	240
34	55212	19260	8560	856	23220	10320	1032	3600	360	160
35	45927	10935	1944	1944	8505	1512	1512	360	360	64
36	33264	7920	2816	2112	8505	3024	2268	720	540	192
37	48498	7398	2192	6576	4779	1416	4248	216	648	192
38	48495	16470	8540	6100	8586	4452	3180	1512	1080	560
39	30150	7839	4824	7236	5850	3600	5400	936	1404	864
40	61440	16896	8192	8192	15840	7680	7680	2112	2112	1024
41	41814	22422	6464	3232	22977	6624	3312	3552	1776	512
42	20664	6888	11152	7872	5292	8568	6048	2856	2016	3264
Σ	1256343	377799	190316	139560	265914	128064	91200	46608	31608	19920

Nilai C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 , dan nilai b didapat dengan menyelesaikan keenam persamaan berikut.

$$\Sigma Y = b.n + C_1 \Sigma X_1 + C_2 \Sigma X_2 + C_3 \Sigma X_3 + C_4 \Sigma X_4 + C_5 \Sigma X_5$$

$$\Sigma X_1 Y = b \Sigma X_1 + C_1 \Sigma X_1^2 + C_2 \Sigma X_1 X_2 + C_3 \Sigma X_1 X_3 + C_4 \Sigma X_1 X_4 + C_5 \Sigma X_1 X_5$$

$$\Sigma X_2 Y = b \Sigma X_2 + C_1 \Sigma X_2 X_1 + C_2 \Sigma X_2^2 + C_3 \Sigma X_2 X_3 + C_4 \Sigma X_2 X_4 + C_5 \Sigma X_2 X_5$$

$$\Sigma X_3 Y = b \Sigma X_3 + C_1 \Sigma X_1 X_3 + C_2 \Sigma X_2 X_3 + C_3 \Sigma X_3^2 + C_4 \Sigma X_3 X_4 + C_5 \Sigma X_3 X_5$$

$$\Sigma X_4 Y = b \Sigma X_4 + C_1 \Sigma X_1 X_4 + C_2 \Sigma X_2 X_4 + C_3 \Sigma X_3 X_4 + C_4 \Sigma X_4^2 + C_5 \Sigma X_4 X_5$$

$$\Sigma X_5 Y = b \Sigma X_5 + C_1 \Sigma X_1 X_5 + C_2 \Sigma X_2 X_5 + C_3 \Sigma X_3 X_5 + C_4 \Sigma X_4 X_5 + C_5 \Sigma X_5^2$$

Dengan memasukkan masing-masing nilai yang dibutuhkan, didapat enam buah persamaan sebagai berikut.

$$8653,959 = 42 b + 9394 C_1 + 5562 C_2 + 1779 C_3 + 892 C_4 + 656 C_5$$

$$1943247 = 9394 b + 2227578 C_1 + 1256343 C_2 + 377799 C_3 + 190316 C_4 + 139560 C_5$$

$$1259272 = 5562 b + 1256343 C_1 + 903006 C_2 + 265914 C_3 + 128064 C_4 + 91200 C_5$$

$$373515 = 1779 b + 377799 C_1 + 265914 C_2 + 99927 C_3 + 46608 C_4 + 31608 C_5$$

$$188525,5 = 892 b + 190316 C_1 + 128064 C_2 + 46608 C_3 + 29712 C_4 + 19920 C_5$$

$$130788,9 = 656 b + 139560 C_1 + 91200 C_2 + 31608 C_3 + 19920 C_4 + 17280 C_5$$

(Lanjutan Lampiran 8)

Untuk lebih memudahkan proses perhitungan, penyelesain keenam persamaan tersebut dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab R2009a. Perintah yang digunakan adalah sebagai berikut.

```
fx>> [b,c1,c2,c3,c4,c5] = solve ('42*b + 9394*C1 + 5562*C2 + 1779*C3 +  
892*C4 + 656*C5 = 8653,959', '9394*b + 2227578*C1 + 1256343*C2 +  
377799*C3 + 190316*C4 + 139560*C5 = 1943247', '5562*b + 1256343*C1  
+ 903006*C2 + 265914*C3 + 128064*C4 + 91200*C5 = 1259272', '1779*b +  
377799*C1 + 265914*C2 + 99927*C3 + 46608*C4 + 31608*C5 =  
373515', '892*b + 190316*C1 + 128064*C2 + 46608*C3 + 29712*C4 +  
19920*C5 = 188525,5', '656*b + 139560*C1 + 91200*C2 + 31608*C3 +  
19920*C4 + 17280*C5 = 130788,9')
```

Dari perhitungan tersebut kemudian didapatkan hasil sebagai berikut:

$$C_1 = -0,244 ; C_2 = 0,881 ; C_3 = -1,243 ; C_4 = 1,619 ; C_5 = -2,095 ; b = 190,435$$

Sehingga didapat persamaan regresi linier berganda sebagai berikut.

$$Y = -0,244 X_1 + 0,881 X_2 - 1,243 X_3 + 1,619 X_4 - 2,095 X_5 + 190,435$$

Untuk menghitung koefisien korelasi, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai Y taksiran (\check{Y}). Nilai tersebut dapat dihitung dengan memasukkan tiap nilai $X_1, X_2, X_3, X_4,$ dan X_5 dari data yang ada pada persamaan yang didapat, sehingga diperoleh nilai Y yang baru, yaitu \check{Y} . berikut merupakan tabel perhitungan Y taksiran dan simpangan Y yang dibutuhkan untuk menghitung koefisien korelasi.

Tabel Perhitungan Y Taksiran dan Simpangan Y

n	Y	\check{Y}	$(Y - \check{Y})^2$	$(Y - \bar{Y})^2$
1	255,5129	205,354	2515,916	2446,912
2	315,8972	201,345	13122,21	12067,15
3	382,1115	290,986	8303,861	30998,85
4	292,5639	233,59	3477,925	7485,243
5	296,0035	247,839	2319,822	8092,244
6	447,5532	253,589	37622,1	58325,41
7	495,6223	284,115	44735,33	83854,05
8	115,7501	155,343	1567,595	8153,457
9	90,0053	174,732	7178,613	13465,59

(Lanjutan Lampiran 8)

Lanjutan Tabel Perhitungan Y Taksiran dan Simpangan Y

n	Y	\bar{Y}	$(Y - \bar{Y})^2$	$(Y - \bar{Y})^2$
10	120,1969	163,279	1856,066	7370,174
11	222,0645	177,513	1984,837	256,5723
12	104,0685	130,192	682,4383	10399,54
13	73,72023	148,427	5581,101	17510,28
14	150,9532	132,518	339,856	3035,288
15	139,31	144,493	26,86324	4453,775
16	163,2963	145,668	310,7586	1827,587
17	185,5133	182,605	8,458304	421,617
18	238,7016	188,219	2548,492	1066,346
19	161,3633	159,064	5,286869	1996,598
20	257,7546	200,235	3308,504	2673,714
21	193,5983	147,709	2105,825	154,9617
22	181,432	205,992	603,195	605,8815
23	207,9835	179,19	829,0649	3,75141
24	236,106	226,134	99,44177	903,5686
25	237,8139	247,377	91,45374	1009,156
26	162,0276	171,826	96,00875	1937,676
27	129,2512	167,488	1462,056	5897,545
28	221,003	136,591	7125,385	223,6929
29	155,9779	164,895	79,51517	2506,881
30	177,414	211,075	1133,063	819,8276
31	226,5227	312,436	7381,094	419,2697
32	167,5913	264,274	9347,549	1478,814
33	221,8262	296,857	5629,614	248,9962
34	234,1784	314,307	6420,586	791,3985
35	158,8077	242,769	7049,5	2231,517
36	252,5042	262,349	96,91938	2158,309
37	228,7513	214,107	214,4551	515,5014
38	184,1771	198,504	205,2613	478,2783
39	156,881	192,52	1270,14	2417,262
40	191,5852	247,261	3099,795	209,1332
41	80,10541	207,869	16323,53	15861,19
42	140,4582	222,031	6654,118	4301,839
		Σ	214813,6	321074,9

(Lanjutan Lampiran 8)

$n = 42$, $k = \text{jumlah variabel} = 5$

$$S_{y.12345}^2 = \frac{\sum(Y-\hat{Y})^2}{n-k-1} = \frac{214813,6}{42-5-1} = 5967,045$$

$$S_y^2 = \frac{\sum(Y-\bar{Y})^2}{n-1} = \frac{321074,9}{42-1} = 7831,094$$

$$R^2 = 1 - \frac{(n-k-1)S_{y.12345}^2}{(n-1)S_y^2} = 1 - \frac{(42-5-1)(5967,045)}{(42-1)(7831,094)} = 0,330955$$

$$R = (0,330955)^{0,5} = 0,575287$$





LAMPIRAN 9
Cara Perhitungan Nilai
Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

LAMPIRAN 9

Cara Perhitungan Nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Perhitungan nilai ISPU dilakukan dengan melakukan interpolasi pada nilai konsentrasi hasil pengukuran di lapangan dengan nilai Konsentrasi yang telah diketahui nilai ISPU nya sesuai dengan Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal) No.107 Tahun 1997 tentang perhitungan dan pelaporan serta informasi indeks standar pencemar udara. Berikut merupakan tabel nilai konsentrasi TSP yang telah diketahui nilai ISPU nya.

Tabel Konsentrasi TSP dan Nilai ISPU nya

ISPU	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kategori
0-50	0-75	Baik
51-100	76-260	Sedang
101-200	261-375	Tidak Sehat
201-300	376-625	Sangat Tidak Sehat
>300	>625	Berbahaya

Sumber : Keputusan Kepala Bapedal No.107 Tahun 1997

Interpolasi dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$I = I_a - \left(\frac{X_a - X_x}{X_a - X_b} \times (I_a - I_b) \right)$$

Dengan keterangan:

I = ISPU terhitung

I_a = ISPU batas atas

I_b = ISPU batas bawah

X_a = konsentrasi ambien batas atas

X_b = konsentrasi ambien batas bawah

X_x = konsentrasi ambien hasil pengukuran

Berikut merupakan tabel perhitungan nilai ISPU dari data yang didapat di lapangan.

(Lanjutan Lampiran 9)

Tabel Perhitungan Nilai ISPU dan Kategori Kualitas Udara Ambien

Gardu	Hari/Tanggal	Waktu	Kons.TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Ia	Ib	Xa	Xb	ISPU	Kategori
12	Rabu, 12 Jan'11	06.00-07.00	255,513	100	51	260	76	98,81	SDG
		07.00-08.00	315,897	200	101	375	261	148,67	TS
		08.00-09.00	382,112	300	201	625	376	203,43	STS
		09.00-10.00	292,564	200	101	375	261	128,41	TS
		10.00-11.00	296,004	200	101	375	261	131,40	TS
		11.00-12.00	447,553	300	201	625	376	229,45	STS
		12.00-13.00	495,622	300	201	625	376	248,56	STS
12	Minggu, 27 Feb'11	06.00-07.00	115,750	100	51	260	76	61,59	SDG
		07.00-08.00	90,005	100	51	260	76	54,73	SDG
		08.00-09.00	120,197	100	51	260	76	62,77	SDG
		09.00-10.00	222,065	100	51	260	76	89,90	SDG
		10.00-11.00	104,068	100	51	260	76	58,47	SDG
		11.00-12.00	73,720	100	51	260	76	50,39	SDG
		12.00-13.00	150,953	100	51	260	76	70,96	SDG
13	Selasa, 18 Jan'11	06.00-07.00	139,310	100	51	260	76	67,86	SDG
		07.00-08.00	163,296	100	51	260	76	74,25	SDG
		08.00-09.00	185,513	100	51	260	76	80,16	SDG
		09.00-10.00	238,702	100	51	260	76	94,33	SDG
		10.00-11.00	161,363	100	51	260	76	73,73	SDG
		11.00-12.00	257,755	100	51	260	76	99,40	SDG
		12.00-13.00	193,598	100	51	260	76	82,32	SDG
13	Sabtu, 15 Jan'11	06.00-07.00	181,432	100	51	260	76	79,08	SDG
		07.00-08.00	207,983	100	51	260	76	86,15	SDG
		08.00-09.00	236,106	100	51	260	76	93,64	SDG
		09.00-10.00	237,814	100	51	260	76	94,09	SDG
		10.00-11.00	162,028	100	51	260	76	73,91	SDG
		11.00-12.00	129,251	100	51	260	76	65,18	SDG
		12.00-13.00	221,003	100	51	260	76	89,61	SDG
14	Rabu, 23 Feb'11	06.00-07.00	155,978	100	51	260	76	72,30	SDG
		07.00-08.00	177,414	100	51	260	76	78,01	SDG
		08.00-09.00	226,523	100	51	260	76	91,08	SDG
		09.00-10.00	167,591	100	51	260	76	75,39	SDG
		10.00-11.00	221,826	100	51	260	76	89,83	SDG
		11.00-12.00	234,178	100	51	260	76	93,12	SDG
		12.00-13.00	158,808	100	51	260	76	73,05	SDG

Keterangan:

B = Baik

BY = Berbahaya

STS = Sangat Tidak Sehat

SDG = Sedang

TS = Tidak Sehat

(Lanjutan Lampiran 9)

Lanjutan Tabel Perhitungan Nilai ISPU dan Kategori Kualitas Udara Ambien

Gardu	Hari/Tanggal	Waktu	Kons.TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Ia	Ib	Xa	Xb	ISPU	Kategori
14	Sabtu, 26 Feb'11	06.00-07.00	252,504	100	51	260	76	98,00	SDG
		07.00-08.00	228,751	100	51	260	76	91,68	SDG
		08.00-09.00	184,177	100	51	260	76	79,81	SDG
		09.00-10.00	156,881	100	51	260	76	72,54	SDG
		10.00-11.00	191,585	100	51	260	76	81,78	SDG
		11.00-12.00	80,105	100	51	260	76	52,09	SDG
		12.00-13.00	140,458	100	51	260	76	68,17	SDG

Keterangan:

B = Baik

BY = Berbahaya

STS = Sangat Tidak Sehat

SDG = Sedang

TS = Tidak Sehat

