

TUGAS AKHIR
HUBUNGAN ANTARA KEPADATAN LALU LINTAS
DENGAN KONSENTRASI PM_{2,5}, PM₁₀ DAN TSP
DI KAWASAN KOTA YOGYAKARTA

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan**



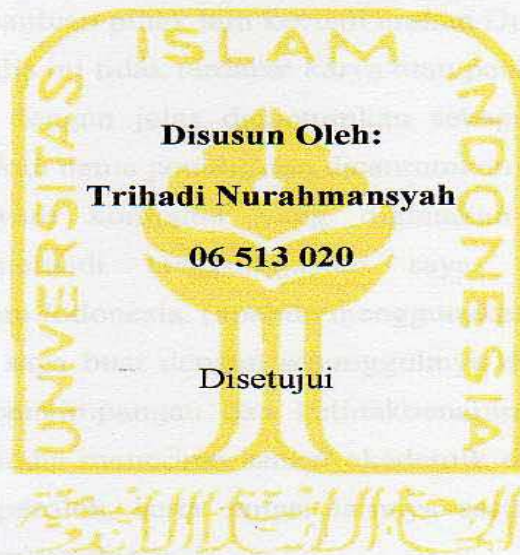
TRIHADI NURAHMANSYAH
06 513 020

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2011

TUGAS AKHIR

HUBUNGAN ANTARA KEPADATAN LALU LINTAS DENGAN KONSENTRASI $PM_{2,5}$, PM_{10} DAN TSP DI KAWASAN KOTA YOGYAKARTA

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan**



Disusun Oleh:
Trihadi Nurahmansyah
06 513 020

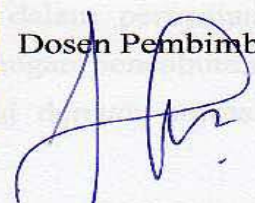
Disetujui

Dosen Pembimbing I


Luqman Hakim, ST, M.Si

Tanggal: 7/02 2011

Dosen Pembimbing II


Hudori, ST, MT.

Tanggal: 7/2 2011

Ketua Jurusan




Luqman Hakim, ST, M.Si

Ketua Jurusan

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program software komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia. (apabila menggunakan software khusus)
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta,

Yang membuat pernyataan



TRIHADI NURAHMANSYAH

PERSEMBAHAN



Kupersembahkan coretanku ini kepada....

Allah SWT

Yang selalu memberiku nikmat sampai pada hari ini

“Bimbinglah hambamu ini agar selalu berada di jalanMu ya Allah..”

Mama-Papa Ku Tersayang

Terimakasih atas rasa sayang yang tulus, hanya ini yang aku bisa berikan persembahan karyaku sampai dengan pada saat ini.

Mah Sih dan Simbah

Dua orang yang telah mengisi hidupku dan merawatku dari kecil sampai sekarang, semoga mereka sehat selalu.

Mas Fitrahadi, Mba Ias dan Mba Susi

Mas dan mba yang selalu memberi dukungan kepadaku, terimakasih ya...

Zakiy Hadi Arrasyid

Akhirnya om dapat menyelesaikan kuliah ini, dik Zakiy cepet gede ya...

Putri Kurnia Permatasari

Terimakasih ya telah sabar menghadapiku dan mau mengerti kondisiku serta keadaanku...

MOTTO

Orang yang berjaya dalam hidup adalah orang yang nampak tujuannya dengan jelas dan
menjurus kepadanya tanpa menyimpang

(Cecil B. DeMille)

*Hanya satu motivasi yang ada, yaitu Allah. Adapun motivasi lainnya harus dalam rangka
"karena dan/atau untuk" Allah.*

Anda dapat memperoleh segala sesuatu yang anda inginkan jika anda mempunyai
keberanian untuk memimpikannya, kecerdasan untuk membuat rencana yang realistis,
dan kemauan untuk melihat rencana itu sampai berhasil.

(Sidney A. Friedman)

Sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan, maka apabila kamu telah
menyelesaikan sesuatu pekerjaan, maka kerjakanlah dengan sungguh-sungguh
pekerjaan lain. Hanya kepada Tuhanmulah engkau mengharap

(QS Al-Insyirah 6-8)

*Tidak semua yang dapat dihitung diperhitungkan dan tidak semua yang diperhitungkan
dapat dihitung*

(Albert Einstein)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pencipta, Maha Pengasih, Maha Penyayang serta Maha Segalanya atas karunia-Nya yang berlimpah sampai pada hari ini. Shalawat serta salam senantiasa saya haturkan kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabatnya.

Berkat limpahan rahmat, petunjuk dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir dengan judul **"HUBUNGAN ANTARA KEPADATAN LALU LINTAS DENGAN KONSENTRASI $PM_{2.5}$, PM_{10} DAN TSP DI KAWASAN KOTA YOGYAKARTA"**.

Selama penyusunan laporan ini, penyusun telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Luqman Hakim, ST, M.Si, selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia sekaligus sebagai dosen pembimbing I atas arahan dan bimbingannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Hudori, ST, MT, selaku dosen pembimbing II atas koreksi serta arahnya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Any Juliani, ST, M.Sc, Bapak Andik Yulianto, ST, MT, Bapak Ir. Kasam, MT, Bapak Hijrah ST, M.Eng dan Bapak Awaludin, ST, selaku Dosen Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Tasyono dan Mas Iwan atas bantuannya selama pelaksanaan penelitian
5. Mas Agus, yang telah banyak membantu dalam kelancaran mulai dari seminar proposal hingga pendadaran.
6. Mama dan Papa tercinta, atas doa yang tulus dan pengorbanannya dalam membiayai studi saya.

7. Mah Sih dan Simbah, terimakasih atas pengorbanannya sampai pada hari ini, semoga beliau sehat selalu.
8. Mas Fitrahadi, Mba Ias dan Mba Susi yang selalu memberikan dukungan dan semangat untuk cepat lulus.
9. Zakiy Hadi Arrasyid, tingkah polah dan senyumnya membuat penulis semakin berhasrat untuk segera lulus.
10. Putri Kurnia Permatasari, atas pengertian, dukungan dan doanya yang tidak pernah henti selama ini.
11. Tim Prolabir (Frengky, Ruslim, Zikri, Akbar, Obi, Mas Danang, Rahman The Master, Sahabatku Dimas Pandji dan Jojon), terimakasih atas kerjasamanya yang cukup solid ibarat permainan Barcelona.hehe
12. Teman-teman TL khususnya Enviro06 yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, kebersamaan bersama kalian telah terukir dalam perjalanan hidupku.
13. Seluruh Teman-teman Teknik Lingkungan baik alumni ataupun yang masih kuliah.

Semoga amal baik yang telah diberikan untuk penulis mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT, Amin...

Dalam membuat laporan ini mungkin terdapat kesalahan atau kekurangan baik yang disengaja atau tidak. Oleh karena itu saran dan kritik dari semua pihak akan penyusun terima sebagai referensi bagi penyusunan laporan dimasa yang akan datang. Bila ada kesalahan adalah kesalahan penyusun sebagai manusia dan bila ada kebenaran, itu datang dari Allah SWT.

Akhir kata semoga, tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya penyusun sendiri dan pembaca pada umumnya.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, Januari 2011

Trihadi N

Daftar Isi

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Halaman Pernyataan.....	iii
Halaman Persembahan	iv
Motto.....	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar.....	xii
Daftar Lampiran	xiii
Abstrak.	xiv
Absctract.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Udara.....	4
2.2 Pencemaran Udara.....	5
2.2.1 Sumber dan Penyebab Pencemaran Udara	6
2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Udara.....	8
2.2.3 Dampak Pencemaran Udara.....	10
2.2.4 Pengendalian Pencemaran Udara	12
2.3 Kendaraan Bermotor.....	15
2.4 Partikulat	16
2.4.1 Jenis Partikulat	18

2.4.1.1 PM _{2,5}	18
2.4.1.2 PM ₁₀	19
2.4.1.3 TSP	19
2.4.2 Dampak Pencemaran Partikulat	20
2.5 Penelusuran Penelitian Sebelumnya.....	22
2.6 Hipotesa	22
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Umum	23
3.2 Objek Penelitian	23
3.3 Lokasi Penelitian	24
3.4 Jenis Data	26
3.5 Variabel Penelitian	27
3.6 Metoda Sampling dan Pengumpulan Data.....	27
3.7 Pengambilan Data.....	27
3.7.1 Pengambilan Data Volume Lalu Lintas.....	27
3.7.2 Sampling Particulate Matter 2,5 (PM _{2,5})	29
3.7.3 Sampling Particulate Matter 10 (PM ₁₀).....	30
3.7.4 Sampling TSP	32
3.7.5 Pengambilan Data Meteorologi.....	34
3.8 Analisis Data	34
BAB IV PEMBAHASAN	37
4.1 Kondisi Lokasi Penelitian	37
4.2 Hasil Pengukuran Meteorologi.....	38
4.2.1 Suhu Udara.....	38
4.2.2 Kelembaban Udara	39
4.2.3 Kecepatan dan Arah Angin	40
4.3 Survey Kepadatan Lalu Lintas	42
4.4 Hasil Pengukuran Partikulat di Lapangan	48
4.4.1 Hasil Pengukuran Pencemar <i>Particulate Matter</i> 2,5 (PM _{2,5}).....	48
4.4.2 Hasil Pengukuran Pencemar <i>Particulate Matter</i> 10 (PM ₁₀)	50
4.4.3 Hasil Pengukuran Pencemar <i>TSP</i>	52
4.5 Analisa Distribusi Pencemar	54

4.6	Kualitas Udara Kota Yogyakarta	57
4.7	Hasil Analisis Korelasi Berganda.....	62
4.7.1	Hubungan Antara Kepadatan Lalu Lintas dengan Konsentrasi PM _{2,5} , PM ₁₀ dan TSP	63
4.7.2	Hubungan Antara Kepadatan Lalu Lintas Khususnya Kendaraan Jenis <i>Heavy Vehicle</i> dengan Konsentrasi PM _{2,5} , PM ₁₀ dan TSP.....	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		69
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA		71
LAMPIRAN		74

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Susunan Udara Bersih dan Kering.....	4
Tabel 3.1 Lokasi Pengambilan Sampel	26
Tabel 3.2 Acuan yang Digunakan	27
Tabel 3.3 Waktu Pengambilan Sampel Kepadatan Lalu Lintas.....	28
Tabel 3.4 Form Pengambilan Data Kepadatan Lalu Lintas Pada Pagi Hari	28
Tabel 4.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	37
Tabel 4.2 Suhu Udara di Lokasi Penelitian	38
Tabel 4.3 Kelembaban Udara di Lokasi Penelitian.....	39
Tabel 4.4 Arah dan Kecepatan Angin di Lokasi Penelitian.....	41
Tabel 4.5 Derajat Kejenuhan Di Lokasi Penelitian	46
Tabel 4.6 Parameter Tingkat Pelayanan Jalan	47
Tabel 4.7 Tingkat Pelayanan Jalan pada Lokasi Penelitian.....	48
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran $PM_{2,5}$	49
Tabel 4.9 Hasil Pengukuran PM_{10}	51
Tabel 4.10 Hasil Pengukuran TSP	52
Tabel 4.11 Arah dan Kecepatan Angin Harian Bulan Mei 2010.....	55
Tabel 4.12 Arah dan Kecepatan Angin Harian Bulan Juni 2010	55
Tabel 4.13 Kualitas Udara Ambien Kota Yogyakarta Tahun 2008.....	58
Tabel 4.14 Pemantauan Kepadatan Lalu Lintas dan Konsentrasi Partikulat di Kawasan Kota Yogyakarta Tahun 2010	59
Tabel 4.15 Pemantauan Kepadatan Lalu Lintas untuk Kendaraan Jenis <i>Heavy</i> <i>Vehicle</i> dan Konsentrasi Partikulat di Kawasan Kota Yogyakarta Tahun 2010	61
Tabel 4.16 Hubungan Analisis Korelasi Berganda Antara Kepadatan Lalu Lintas dengan Konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP	64
Tabel 4.17 Hubungan Analisis Korelasi Berganda Antara Kepadatan Lalu Lintas Kendaraan Jenis <i>Heavy Vehicle</i> dengan Konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP	66

Daftar Gambar

Gambar 2.1	Pertumbuhan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia	15
Gambar 2.2	Jumlah Kendaraan dan Perkiraan Besarnya Emisi Kendaraan (Ton/Tahun)	16
Gambar 2.3	Particulate Matter 2,5 dan Particulate Matter 10	17
Gambar 2.4	Proses Masuknya Partikulat ke dalam Tubuh Manusia.....	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 3.2	Lokasi Penelitian	25
Gambar 3.3	Environmental Sampler (E-Sampler) dengan Ukuran 2,5 mikron.....	30
Gambar 3.4	Environmental Sampler (E-Sampler) dengan Ukuran 10 mikron.....	32
Gambar 3.5	High Volume Air Sampler (HVAS).....	34
Gambar 3.6	Weather Station.....	34
Gambar 4.1	Suhu Udara di Lokasi Penelitian.....	38
Gambar 4.2	Kelembaban Udara di Lokasi Penelitian	40
Gambar 4.3	Kecepatan Angin di Lokasi Penelitian	41
Gambar 4.4	Volume Kendaraan Pagi Hari (06.30 - 08.00)	42
Gambar 4.5	Volume Kendaraan Siang Hari (11.30 - 13.00)	43
Gambar 4.6	Volume Kendaraan Sore Hari (15.30 - 17.00)	43
Gambar 4.7	Volume Kendaraan Malam Hari (23.30 - 01.00)	44
Gambar 4.8	Volume Total Kendaraan Selama 24 Jam.....	44
Gambar 4.9	Derajat Kejenuhan di Lokasi Penelitian	46
Gambar 4.10	Konsentrasi Pencemar PM _{2,5}	49
Gambar 4.11	Konsentrasi Pencemar PM ₁₀	51
Gambar 4.12	Konsentrasi Pencemar TSP	53
Gambar 4.13	Diagram Windrose Arah dan Kecepatan Angin Bulan Mei	55
Gambar 4.14	Diagram Windrose Arah dan Kecepatan Angin Bulan Juni	55
Gambar 4.15	Pemantauan Kepadatan Lalu Lintas dan Konsentrasi Partikulat di Kawasan Kota Yogyakarta Tahun 2010	60
Gambar 4.16	Pemantauan Kepadatan Lalu Lintas untuk Kendaraan Jenis <i>Heavy</i> <i>Vehicle</i> dan Konsentrasi Partikulat di Kawasan Kota Yogyakarta Tahun 2010.....	61

Daftar Lampiran

Lampiran 1 : Peta Lokasi Penelitian

Lampiran 2 : Daftar Ruas Jalan

Lampiran 3 : Volume Lalu Lintas dan Kepadatan Lalu Lintas

Lampiran 4 : Analisa Kapasitas Kepadatan Lalu Lintas

Lampiran 5 : Analisa Derajat Kejenuhan

Lampiran 6 : Analisa Perhitungan Konsentrasi

Lampiran 7 : Analisa Perhitungan Konsentrasi $PM_{2,5}$

Lampiran 8 : Analisa Perhitungan Konsentrasi PM_{10}

Lampiran 9 : Analisa Perhitungan Konsentrasi TSP

ABSTRAK

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Kota Yogyakarta berpengaruh terhadap penurunan kualitas udara di Kota Yogyakarta. Asap dari kendaraan bermotor tersebut dapat menyebabkan terjadinya pencemaran udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara kepadatan lalu lintas terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di kawasan Kota Yogyakarta. Penelitian dilakukan di sembilan titik kawasan Kota Yogyakarta. Pengambilan sampel $PM_{2,5}$ dan PM_{10} menggunakan alat E-Sampler, pengambilan sampel TSP menggunakan HVAS, pengambilan sampel kepadatan lalu lintas dilakukan pada pagi hari, siang hari, sore hari dan malam hari yang dilakukan masing-masing 1,5 jam untuk mewakili jumlah kendaraan bermotor dalam satu hari. Sedangkan untuk pengambilan sampel meteorologi menggunakan alat weather link.

Pengukuran kepadatan lalu lintas total untuk sepeda motor tertinggi pada lokasi Simpang Empat Wirobrajan dengan jumlah 35.038 unit, untuk jenis light vehicle terjadi di Jalan Solo (Saphir Square) dengan jumlah 7.437 unit, dan untuk jenis heavy vehicle terjadi pada pagi hari dan terdapat di Simpang Empat Wirobrajan dengan jumlah 552 unit. Konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP tertinggi di lokasi Simpang Empat Gedong Tengen, sebesar $52,122 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk $PM_{2,5}$, $45,355 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk PM_{10} dan $267,963 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk TSP. Untuk pemantauan konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} tidak terdapat nilai konsentrasi yang melebihi BMUA. Sedangkan untuk TSP terdapat satu lokasi yang konsentrasi pencemarnya telah melebihi dari BMUA dan merupakan konsentrasi tertinggi pada penelitian ini untuk parameter TSP, yaitu terjadi pada Simpang Empat Gedong Tengen. Hasil penelitian menunjukkan hubungan yang sangat lemah antara kepadatan lalu lintas terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di kawasan Kota Yogyakarta. Sedangkan untuk hubungan kepadatan lalu lintas khususnya kendaraan jenis heavy vehicle terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} terdapat hubungan yang kuat. Untuk hubungan kepadatan lalu lintas khususnya kendaraan jenis heavy vehicle terhadap konsentrasi TSP menunjukkan hubungan yang cukup.

Kata kunci : Pencemaran Udara, Kepadatan Lalu Lintas, Particulate Matter 2,5 ($PM_{2,5}$), Particulate Matter (PM_{10}), Total Suspended Particulate (TSP)

ABSTRACT

The increasing number of vehicles in the city of Yogyakarta effect to the decrease of air quality in the city of Yogyakarta. Smoke from the vehicles can cause air pollution. This study aims to determine the correlation between traffic density with concentration of $PM_{2.5}$, PM_{10} and TSP in the city of Yogyakarta. The study was conducted in nine point region of Yogyakarta. Sampling of $PM_{2.5}$ and PM_{10} using the E-Sampler, sampling of TSP using HVAS. Traffic density sampling done in the morning, afternoon, evening and night performed 1.5 hours each to represent the number of vehicle in one day. As for the meteorology sampling using a weather link.

Measurement of total traffic density for the highest motorcycle at Simpang Empat Wirobrajan locations with a total 35,038 units, for light vehicle, occurred at Jalan Solo (Saphir Square) with a total 7,437 units, and for the type of heavy vehicle occurred in the morning and there are at Simpang Empat Wirobrajan with total 552 units. The concentration of $PM_{2.5}$, PM_{10} and TSP, the highest concentration in Simpang Empat Gedong Tengen, amounting $52.122\mu g/Nm^3$ for $PM_{2.5}$, $45.355\mu g/Nm^3$ for PM_{10} and $267.963\mu g/Nm^3$ for TSP. For monitoring the concentration of $PM_{2.5}$ and PM_{10} there is no value of concentration exceeding the BMUA. As for the TSP, there is one location that has exceeded the concentration from BMUA and the highest concentration in this study for the parameters of TSP, which occurred at Simpang Empat Gedong Tengen. The results showed a very weak correlation between the traffic density with the concentration of $PM_{2.5}$, PM_{10} and TSP in the city of Yogyakarta. As for the correlation of the traffic density especially heavy vehicles with the concentration of $PM_{2.5}$ and PM_{10} there is a strong correlation. And the correlation traffic density especially heavy vehicle against TSP concentrations showed considerable correlation.

Keywords: Air Pollution, Traffic Density, Particulate Matter 2.5 ($PM_{2.5}$), Particulate Matter (PM_{10}), Total Suspended Particulate (TSP).

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Dalam setiap aktivitas manusia selalu menghasilkan output berupa produk dan sisa kegiatan. Sisa kegiatan yang dihasilkan dari aktivitas manusia dapat berupa gas, padat dan cair. Sisa kegiatan dari aktivitas manusia tersebut dapat menimbulkan pencemaran lingkungan sekitar, sehingga terjadilah penurunan kualitas lingkungan.

Pencemaran udara merupakan bagian dari terjadinya penurunan kualitas lingkungan. Saat ini pencemaran udara merupakan salah satu masalah yang terjadi di sebagian kota-kota besar di Indonesia. Dampak penurunan kualitas lingkungan dari pencemaran udara adalah terhadap kesehatan.

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan kota pelajar, dimana terdapat puluhan ribu mahasiswa yang datang untuk belajar di kota ini. Dengan banyaknya sekolah dan perguruan tinggi di kota Yogyakarta maka jumlah pelajar dan mahasiswa di Yogyakarta semakin tahun semakin meningkat. Meningkatnya jumlah mahasiswa dan pelajar di Kota Yogyakarta maka akan berdampak terhadap laju kepadatan lalu lintas di Kota Yogyakarta itu tersebut.

Dengan meningkatnya laju kepadatan lalu lintas di Kota Yogyakarta maka sudah pasti berdampak pada kualitas lingkungan di Kota Yogyakarta terutama dalam hal pencemaran udara. Asap yang dihasilkan dari kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber pencemaran udara. Pembakaran yang tidak sempurna menghasilkan gas dan partikel yang berbahaya di udara ambient.

$PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP merupakan partikel yang berada di udara ambien. Keberadaan $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP diudara sangatlah dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Nilai ambang batas $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP telah diatur pemerintah dalam PP No 41 Tahun 1999 sehingga nilai konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP yang melebihi baku mutu dapat berdampak pada kesehatan manusia.

Permasalahan pencemaran udara di kota Yogyakarta tidak dapat dipandang sebelah mata. Untuk itu peneliti ingin mengetahui hubungan antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di kawasan Kota Yogyakarta.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat diperoleh rumusan masalah:

1. Bagaimana kualitas udara untuk parameter $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di udara ambient di sembilan titik kawasan Kota Yogyakarta
2. Seberapa besar pengaruh kepadatan lalu lintas terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP.
3. Seberapa besar pengaruh kepadatan lalu lintas khususnya kendaraan jenis *heavy vehicle* (bus besar, truk-2AS dan truk-3AS) terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP.

1.3 BATASAN MASALAH

Agar penelitian dapat berjalan sesuai dengan keinginan sehingga tidak terjadi penyimpangan, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Pengambilan sampel di sembilan lokasi kawasan Yogyakarta yakni simpang empat Kantor Pos Yogyakarta, simpang tiga Malioboro, Pingit Jalan Magelang, simpang empat Gedongtengen, simpang empat Wirobrajan, simpang empat terminal Giwangan, simpang tiga Kotagede, simpang empat SGM dan Saphir Jalan Laksda Adisucipto dengan satu titik pengambilan sampel pada satu lokasi.
2. Parameter yang diteliti meliputi TSP, PM_{10} dan $PM_{2,5}$. Alat yang digunakan untuk pengambilan TSP adalah *High Volume Air Sampler* (HVAS) sedangkan untuk pengambilan sampel $PM_{2,5}$ dan PM_{10} menggunakan *Environmental Sampler (E Sampler)*.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kualitas udara Kota Yogyakarta untuk parameter $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP.
2. Mengetahui pengaruh kepadatan lalu lintas terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP udara ambient di sembilan titik kawasan Kota Yogyakarta.
3. Mengetahui pengaruh kepadatan lalu lintas khususnya kendaraan jenis *heavy vehicle* (bus besar, truk-2AS dan truk-3AS) terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP udara ambient di sembilan titik kawasan Kota Yogyakarta.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Memberi informasi kepada pembaca tentang besarnya konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP udara ambient di di sembilan titik kawasan Kota Yogyakarta.
2. Memaparkan informasi kepada masyarakat tentang pengaruh kepadatan lalu lintas terhadap besarnya konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di sembilan titik kawasan Kota Yogyakarta.
3. Memaparkan informasi kepada masyarakat tentang pengaruh kepadatan lalu lintas khususnya kendaraan jenis *heavy vehicle* terhadap besarnya konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di sembilan titik kawasan Kota Yogyakarta.
4. Dapat dijadikan sebagai acuan bagi instansi terkait dalam mengambil suatu kebijakan.
5. Memberikan informasi kepada mahasiswa dalam proses sampling kualitas udara ambient khususnya parameter $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Udara

Udara adalah salah satu sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan merupakan kebutuhan utama bagi makhluk hidup, khususnya manusia. Untuk itu udara sangat perlu dipelihara kualitasnya agar tidak menimbulkan gangguan pada manusia dan makhluk hidup lainnya. Manusia dan makhluk hidup lainnya dapat bertahan hidup selama beberapa hari tanpa minuman dan makanan, tetapi tanpa udara mereka tidak dapat bertahan hidup melebihi 30 menit (Miller, 1990).

Udara merupakan campuran beberapa macam gas yang perbandingannya tidak tetap, tergantung pada keadaan suhu udara, tekanan udara dan lingkungan sekitarnya. Udara adalah atmosfer yang berada di sekeliling bumi yang fungsinya sangat penting bagi kehidupan di dunia ini. Dalam udara terdapat oksigen untuk bernafas, karbon dioksida untuk proses fotosintesis oleh klorofil daun dan ozon untuk menahan sinar ultra violet. Susunan (komposisi) udara bersih dan kering dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Susunan Udara Bersih dan Kering

Unsur	% Volume	Kandungan ppm
Nitrogen	78,09	780.900
Oksigen	20,94	209.400
Argon	0,93	9.300
Karbon dioksida	0,0318	318
Neon	0,0018	18
Helium	0,00052	5,2
Krypton	0,0001	1
Xenon	0,000008	0,008
Nitrogen Oksida	0,000025	0,25
Hydrogen	0,00005	0,5
Metana	0,00015	1,5
Nitrogen Dioksida	0,0000001	0,001
Ozon	0,000002	0,02
Belerang Dioksida	0,00000002	0,0002
Karbon Monoksida	0,00001	0,1
Amonia	0,000001	0,01

(Sumber: Wardhana, 1995)

Udara merupakan faktor yang penting dalam kehidupan, namun dengan meningkatnya pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, kualitas udara telah mengalami perubahan. Udara yang dulunya segar, kini kering dan kotor. Pada sore hari dari ketinggian tampak kota besar seperti Jakarta memperlihatkan warna yang kumuh, cakrawala yang diliputi asap dan debu. Hal ini bila tidak segera ditanggulangi, perubahan tersebut dapat membahayakan kesehatan manusia, kehidupan hewan serta tumbuhan (Soedomo, 2001).

2.2 Pencemaran Udara

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, definisi pencemaran udara adalah masuk/dimasukkannya zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam udara ambien untuk kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Menurut (Chambers, 1976 dan Masters, 1991 dalam Mukono, 2008) yang dimaksud dengan pencemaran udara adalah bertambahnya bahan atau substrat fisik atau kimia ke dalam lingkungan udara normal yang mencapai sejumlah tertentu, sehingga dapat dideteksi oleh manusia (atau yang dapat dihitung dan diukur) serta memberikan efek pada manusia, binatang, vegetasi dan material. Selain itu pencemaran udara dapat pula dikatakan sebagai perubahan atmosfer oleh karena masuknya bahan kontaminan alami atau buatan ke dalam atmosfer tersebut (Parker, 1980 dalam Mukono, 2008)

Pencemaran udara diartikan sebagai adanya bahan - bahan atau zat - zat asing di dalam udara yang menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dari keadaan normalnya. Kehadiran bahan atau zat asing didalam udara dalam jumlah tertentu serta berada di udara dalam waktu yang cukup lama, akan dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan dan binatang (Wardhana, 1995).

Pencemaran udara seakan berbanding lurus dengan kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan, artinya, semakin tingginya teknologi dan ilmu pengetahuan yang dimiliki manusia, maka industri bermunculan semakin banyak pula. Industri

tersebut umumnya menganut sistem mengesfisienkan tenaga pada kerja manusia dengan meraih untung atau laba yang sebesar-besarnya. Dengan cara ini otomatis mesin-mesin atau robot pengganti tenaga manusia tadi semakin banyak diciptakan dan digunakan. Pembakaran-pembakaraan yang ditimbulkan dari energi penggerak mesin-mesin tersebut akan menimbulkan asap dan kabut yang dapat mengakibatkan pencemaran udara, yang dapat membahayakan bagi kelangsungan hidup manusia ataupun benda mati yang ada disekitarnya (Pohan, 2004).

Pencemaran udara pada dasarnya berbentuk partikel (debu, aerosol, timah hitam) dan gas (CO , NO_x , SO_x , H_2S , Hidrokarbon). Udara yang tercemar dengan partikel dan gas ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang berbeda tingkatan dan jenisnya, tergantung dari macam, ukuran dan komposisi kimianya. Gangguan tersebut terutama terjadi pada fungsi faal dari organ tubuh seperti paru-paru dan pembuluh darah atau menyebabkan iritasi pada mata dan kulit (Soedomo, 2001).

2.2.1 Sumber dan Penyebab Pencemaran Udara

Soedomo (2001) menjelaskan sumber pencemaran dapat merupakan kegiatan yang bersifat alami (natural) dan kegiatan manusia (antropogenik). Contoh sumber alami adalah akibat letusan gunung berapi, kebakaran hutan, dekomposisi biotik, debu, spora tumbuhan dan lain sebagainya. Pencemaran udara akibat aktivitas manusia (kegiatan antropogenik) secara kuantitatif sering lebih besar. Untuk kategori ini sumber-sumber pencemaran dibagi dalam pencemaran akibat transportasi, industri, dari persampahan, baik akibat proses dekomposisi ataupun pembakaran dan rumah tangga.

- Pencemaran Udara akibat kegiatan transportasi yang sangat penting adalah akibat kendaraan bermotor di darat. Kendaraan bermotor merupakan sumber pencemaran udara yaitu dengan dihasilkannya gas CO , NO_x , SO_x , tetraethyl lead, yang merupakan bahan logam timbal yang ditambahkan ke dalam bensin berkualitas rendah untuk meningkatkan nilai oktan guna mencegah terjadinya letupan pada mesin. Parameter-

parameter penting akibat aktivitas ini adalah CO, Partikulat, NO_x, SO_x, HC dan Pb.

- Emisi pencemaran udara oleh industri sangat tergantung dari jenis industri dan prosesnya. Emisi dari industri selain akibat prosesnya juga diperhitungkan pencemaran udara dari peralatan yang digunakannya. Berbagai industri dan pusat pembangkit tenaga listrik menggunakan tenaga dan panas yang berasal dari pembakaran arang dan bensin, hasil sampingan dari pembakaran tersebut adalah SO_x, asap dan bahan pencemar lainnya.
- Pembakaran sampah merupakan kegiatan yang dideteksi mempunyai peranan besar dalam pencemaran udara. Sampah perlu mendapat perhatian dan penanganan yang baik, terutama di kota-kota besar, dimana masyarakat tidak menangani sendiri pembuangannya. Begitu pula sampah yang berasal dari industri, pasar, pertokoan, kaki lima dan sampah jalanan. Sampah yang tidak dikelola dengan baik juga dapat menjadi sumber penularan penyakit dan mencemari lingkungan. Proses pembakaran sampah walaupun skalanya kecil sangat berperan dalam menambah jumlah zat pencemar di udara, terutama debu dan hidrokarbon. Hal penting yang perlu diperhitungkan dalam emisi pencemaran udara oleh sampah adalah emisi partikulat akibat proses pembakaran, sedangkan emisi dari proses dekomposisi yang perlu diperhatikan adalah emisi hidrokarbon dalam bentuk gas metana
- Kegiatan rumah tangga mengemisikan pencemar udara yaitu dari proses pembakaran untuk keperluan pengolahan makanan. Parameter udara yang diemisikan ke atmosfer juga identik dengan parameter-parameter yang dilepaskan oleh kendaraan bermotor kecuali senyawa tambahan di dalam bahan bakar seperti Pb.

Wardhana (1995) menjelaskan pembangunan yang berkembang pesat ini, khususnya dalam industri, serta meningkatnya jumlah kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar fosil (minyak) menyebabkan udara yang kita hirup

disekitar kita menjadi tercemar oleh gas-gas buangan hasil pembakaran. Secara umum penyebab pencemaran udara ada 2 macam, yaitu:

- 1) Karena faktor internal (secara alamiah), contoh:
 - i. Debu yang berterbangan karena tiupan angin
 - ii. Abu (debu) yang dikeluarkan dari letusan gunung berapi berikut gas-gas vulkanik.
 - iii. Proses pembusukan sampah organik.
- 2) Karena faktor eksternal (karena ulah manusia)
 - i. Hasil pembakaran bahan bakar fosil.
 - ii. Debu/ serbuk hasil dari kegiatan industri.
 - iii. Pemakaian zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara.

Salah satu sumber utama pencemaran udara adalah mesin pembakaran dalam mesin. Mesin ini, yang dipakai pada hampir semua kendaraan bermotor, tidak membakar semua bahan bakarnya. Mesin ini disamping mengeluarkan air, karbon dioksida dan macam-macam oksida nitrogen serta menyebarkan juga sejumlah limbah yang tidak terbakar secara sempurna. Benda-benda ini meliputi karbon, karbon monoksida, hidrokarbon dan aldehida. Mesin-mesin mobil juga mengeluarkan partikel timbal yang berasal dari bahan *antiknock* dalam bensin (Pohan, 2004).

2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Udara

Menurut Mukono (2008), ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pencemaran udara di atmosfer, antara lain:

1 Kelembaban

Kelembaban udara relatif menunjukkan banyaknya jumlah uap air didalam udara. Kelembaban udara relatif yang rendah (<60%) di daerah tercemar, akan mengurangi efek korosif dari suatu bahan kimia. Sedangkan pada kelembaban relatif yang tinggi (<80%) akan meningkatkan korosifitas zat kimia tersebut.

2 Suhu

Suhu yang menurun pada permukaan bumi, dapat meningkatkan kelembaban udara relatif, sehingga akan meningkatkan efek korosif bahan pencemar di daerah yang udaranya tercemar. Pada suhu meningkat, akan meningkat pula kecepatan reaksi suatu bahan kimia.

3 Sinar matahari

Sinar matahari dapat mempengaruhi bahan oksida terutama O_3 di atmosfer. Keadaan tersebut dapat menyebabkan kerusakan bahan/ alat bangunan, atau bahan yang terbuat dari karet. Jadi dapat dikatakan bahwa sinar matahari dapat meningkatkan rangsangan untuk merusak bahan.

4 Angin

Angin adalah gerakan massa udara. Parameter yang dikaji di dalam angin meliputi arah angin dan kecepatan angin. Kecepatan angin penting karena dapat menentukan besarnya kehilangan air melalui proses evapotranspirasi dan mempengaruhi kejadian hujan.

Besar kecilnya emisi atau pancaran bahan pencemar yang dikeluarkan oleh sumber-sumber pencemar, maka keberadaan pencemaran udara akan dipengaruhi oleh berbagai hal, antara lain:

- 1 Arah dan kecepatan angin
- 2 Kelembaban dan curah hujan
- 3 Suhu udara
- 4 Topografi / geografi

Faktor-faktor di atas dapat meringankan maupun justru memberatkan. Arah dan kecepatan angin bila bersifat positif, mampu menimbulkan pengenceran. Sedangkan kelembaban dan curah hujan dapat berpengaruh positif pada debu. Kota-kota di daerah pantai tentu memiliki faktor topografi/ geografi yang lebih menguntungkan dibandingkan kota-kota di daerah pegunungan, dimana kelembaban, arah dan kecepatan angin kota pantai relatif tidak mengalami hambatan (Achmadi,1997).

2.2.3 Dampak Pencemaran Udara

Para ahli mengemukakan pada sekitar tahun 2000-an kematian yang disebabkan oleh pencemaran udara akan mencapai angka 57.000 orang per tahunnya. Selama 20 tahun angka kematian yang disebabkan oleh pencemaran udara mendekati 14% atau mendekati 0,7% per tahun. Selain itu kerugian materi yang disebabkan oleh pencemaran udara, apabila diukur dengan uang dapat mencapai sekitar 12-16 juta US dollar per tahun, suatu angka yang sangat berarti bila dibelanjakan untuk kesejahteraan umat manusia (Wardhana, 1995).

Pencemaran udara pada dasarnya berbentuk partikel (debu, aerosol, timah hitam) dan gas (CO , NO_x , SO_x , H_2S , Hidrokarbon). Udara yang tercemar dengan partikel dan gas ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang berbeda tingkatan dan jenisnya, tergantung dari macam, ukuran dan komposisi kimiawinya. Gangguan tersebut terutama terjadi pada fungsi faal dari organ tubuh seperti paru-paru dan pembuluh darah, atau menyebabkan iritasi pada mata dan kulit.

Pencemaran udara karena partikel debu biasanya menyebabkan penyakit pernapasan kronis seperti bronchitis kronis, emfisema paru, asma bronchial dan bahkan kanker paru. Sedangkan bahan pencemar gas yang terlarut dalam udara dapat langsung masuk ke dalam tubuh sampai ke paru-paru yang pada akhirnya diserap oleh sistem peredaran darah.

Kadar timah (Pb) yang tinggi di udara dapat mengganggu pembentukan sel darah merah. Gejala keracunan dini mulai ditunjukkan dengan terganggunya fungsi enzim untuk pembentukan sel darah merah, yang pada akhirnya dapat menyebabkan gangguan kesehatan lainnya seperti anemia, kerusakan ginjal dan lain-lain. Sedangkan keracunan Pb bersifat akumulatif.

Keracunan gas CO timbul sebagai akibat terbentuknya karboksihemoglobin (COHb) dalam darah. Afinitas CO yang lebih besar dibandingkan oksigen (O_2) terhadap Hb menyebabkan fungsi Hb untuk membawa oksigen ke seluruh tubuh menjadi terganggu. Berkurangnya penyediaan oksigen ke seluruh tubuh ini akan membuat sesak nafas dan menyebabkan kematian, apabila tidak segera mendapat udara segar kembali. Sedangkan bahan pencemar

udara seperti SO_x, NO_x, H₂S dapat merangsang saluran pernapasan yang mengakibatkan iritasi dan peradangan (Soedomo, 2001).

Menurut Mukono (2008) baik gas maupun partikel yang berada di atmosfer dapat menyebabkan kelainan pada tubuh manusia. Secara umum efek pencemaran udara terhadap individu atau masyarakat dapat berupa:

1. Sakit, baik yang akut maupun yang kronis
2. Penyakit yang tersembunyi yang dapat memperpendek umur, menghambat pertumbuhan dan perkembangan
3. Mengganggu fungsi fisiologis dari:
 - Paru
 - Syaraf
 - Transpor oksigen oleh hemoglobin
 - Kemampuan sensorik
4. Kemunduran penampilan, misalnya pada:
 - Aktivitas atlit
 - Aktivitas motorik
 - Aktivitas belajar
5. Iritasi sensorik
6. Penimbunan bahan berbahaya dalam tubuh
7. Rasa tidak nyaman (bau)

Sedangkan efek lain dari pencemaran udara menurut Mukono (2008) terbagi menjadi lima:

1. Efek terhadap kondisi fisik atmosfer

Efek negatif bahan pencemar udara terhadap kondisi fisik atmosfer antara lain adalah:

- a. Gangguan jarak pandang (*visibility*)
- b. Memberikan warna tertentu pada atmosfer
- c. Mempengaruhi struktur dari awan.
- d. Mempengaruhi keasaman air hujan.
- e. Mempercepat pemanasan atmosfer.

2. Efek terhadap faktor ekonomi

Efek negatif bahan pencemar udara terhadap faktor yang berhubungan dengan ekonomi antara lain:

- a. Meningkatnya biaya rehabilitasi karena rusaknya bahan (keropos)
- b. Meningkatnya biaya pemeliharaan (pelapisan, pengecatan)

3. Efek terhadap vegetasi

Efek negatif bahan pencemar udara terhadap kehidupan vegetasi antara lain adalah:

- a. Perubahan morfologi, pigmen, dan kerusakan fisiologi sel tumbuhan terutama pada daun
- b. Mempengaruhi pertumbuhan vegetasi
- c. Mempengaruhi proses reproduksi tanaman
- d. Mempengaruhi komposisi komunitas tanaman
- e. Terjadi akumulasi bahan pencemar pada vegetasi tertentu, misalnya lumut kerak (*lichen*) dan mempengaruhi kehidupan serta morfologi vegetasi tersebut.

4. Efek terhadap kehidupan binatang

Efek terhadap kehidupan binatang, baik binatang peliharaan atau bukan, dapat terjadi karena adanya proses bioakumulasi dan keracunan bahan berbahaya. Sebagai contoh adalah terjadinya migrasi burung karena udara ambien terpapar oleh gas SO_2 .

5. Efek estetik

Efek estetik yang diakibatkan adanya bahan pencemar udara antara lain timbulnya bau dan adanya lapisan debu pada bahan yang mengakibatkan perubahan warna permukaan bahan dan mudahnya terjadi kerusakan bahan tersebut.

2.2.4 Pengendalian Pencemaran Udara

Pengendalian pencemaran udara menurut Soedomo (2001) dapat dilakukan melalui 3 cara, antara lain:

1. Penelitian dan Pemantauan

Pengendalian pengelolaan pencemaran udara perlu mempertimbangkan keserasian antara faktor-faktor sumber emisi, pengaruh/ dampak, kondisi sosial, ekonomi dan politik serta melakukan pengukuran lapangan sesuai dengan kondisi.

Langkah pertama, dalam pengelolaan pencemaran udara adalah dengan melakukan pengkajian/ identifikasi mengenal macam sumber, model, dan pola penyebaran serta pengaruh/ dampaknya. Sumber pencemaran udara yang sering dikenal dengan sumber emisi adalah tempat dimana pencemaran udara mulai dipancarkan ke udara.

Model dan pola penyebaran dapat diperkirakan melalui studi mengenai kondisi fisik sumber (tinggi cerobong, bentuk, lubang pengeluaran dan besarnya emisi), kondisi awal kualitas udara setempat, kondisi meteorologi dan topografi. Studi pengaruh/ dampak pencemaran udara dilakukan terhadap kesehatan manusia, kehidupan hewan dan tumbuhan, material, estetika dan terhadap kemungkinan adanya perubahan iklim setempat (lokal) maupun regional.

Langkah selanjutnya adalah mengetahui dan mengkomunikasikan tentang pentingnya pengelolaan pencemaran udara dengan mempertimbangkan keadaan sosial lingkungannya, yang berhubungan dengan demografi, kondisi sosial ekonomi, sosial budaya dan psikologi serta imbang ekonomi. Juga perlu dukungan politik, baik dari segi hukum, peraturan, kebijakan maupun administrasi untuk melindungi pelaksanaan pemantauan, pengendalian dan pengawasan.

Untuk melakukan pengukuran lapangan dalam rangka pemantauan pencemaran udara diperlukan pemilihan metoda secara tepat sesuai dengan kemampuan jaringan pengamatan, penempatan peralatan/ instrumen yang diperlukan untuk pengambilan sampel dan kebutuhan peralatan beserta ahlinya untuk keperluan analisis. Dengan mengkoordinasikan bidang-bidang seperti tersebut di atas, maka pengendalian kualitas udara dapat dilaksanakan.

2. Peraturan Perundangan

Upaya pengendalian pencemaran lingkungan khususnya udara saat ini masih bersifat sektoral, baik legislatif maupun institusinya. Peraturan perundangan dalam kaitannya dengan upaya penanggulangan pencemaran yang bersifat nasional adalah UU no 4 Tahun 1982 tentang Ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup. Sebelum dikeluarkan undang-undang tersebut bentuk perundang-undangan bersifat sektoral sesuai dengan kewenangan dari intitusi/ departemen dalam pengelolaan kegiatan yang bernaung di bawahnya. Adapun bentuk peraturan tersebut berupa peraturan, instruksi atau keputusan menteri untuk tingkat pusat/ departemen, sedangkan untuk tingkat daerah berupa peraturan daerah atau keputusan/ intruksi Gubernur.

Beberapa peraturan tentang upaya pengendalian pencemaran misalnya yang diterapkan untuk:

- Sektor industri
- Sektor pertambangan dan
- Sektor transportasi

3. Teknologi Pengendalian Pencemaran

Upaya teknologi pengendalian pencemaran udara dapat dilakukan melalui:

- Pengendalian pada sumbernya
 - + Pengendalian pencemaran debu/ partikel
 - + Pengendalian gas
 - + Pengelolaan buangan kendaraan bermotor
- Pengendalian lingkungan

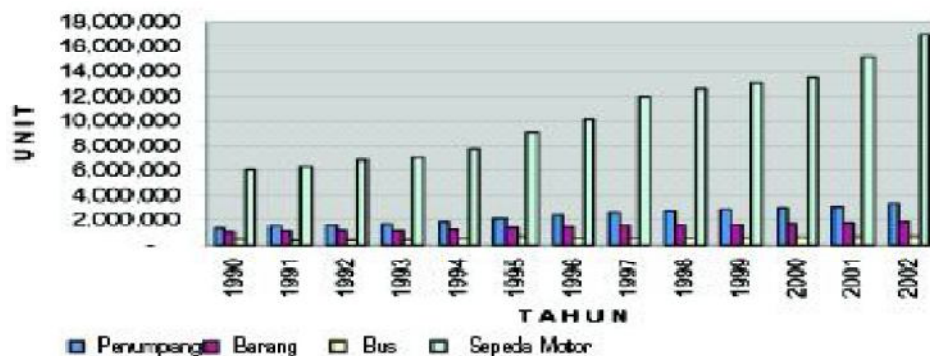
Usaha pengendalian pencemaran perlu dilengkapi dengan usaha teknik pengendalian agar dapat memenuhi tugasnya. Untuk itu diperlukan teknologi pengendalian pencemaran yang baku. Sesuai dengan perkembangan teknologi yang terus meningkat, teknologi pengendalian pencemaran pun semakin meningkat pula. Suatu teknologi pengendalian pencemaran umumnya terkait

dengan peraturan tentang baku mutu pencemaran, sehingga pemilihan alternatif dari bentuk teknologi pengendalian pencemaran tergantung pula dari ketat atau tidaknya peraturan. Pada umumnya pengendalian pencemaran akan mengacu pada pembiayaan, sehingga hal tersebut akan terkait pula dengan keadaan ekonomi suatu negara.

Upaya penanggulangan pencemaran udara dari segi teknologi pada prinsipnya mencakup dua masalah yaitu pengendalian pada sumbernya dan pengendalian pada lingkungannya. Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan usaha pengendalian pada sumbernya merupakan usaha yang paling berhasil, namun akan lebih baik lagi apabila diikti dengan pengendalian lingkungan.

2.3 Kendaraan Bermotor

Sektor transportasi, khususnya kendaraan bermotor, merupakan kontributor terbesar pencemaran udara di daerah perkotaan jika dihitung jumlah bahan bakarnya dibandingkan dengan sektor lainnya. Pencemaran udara akan semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor. Pada Gambar 1 terlihat bahwa tingkat pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia selama 10 tahun terakhir ini sebesar 8,46% per tahun.

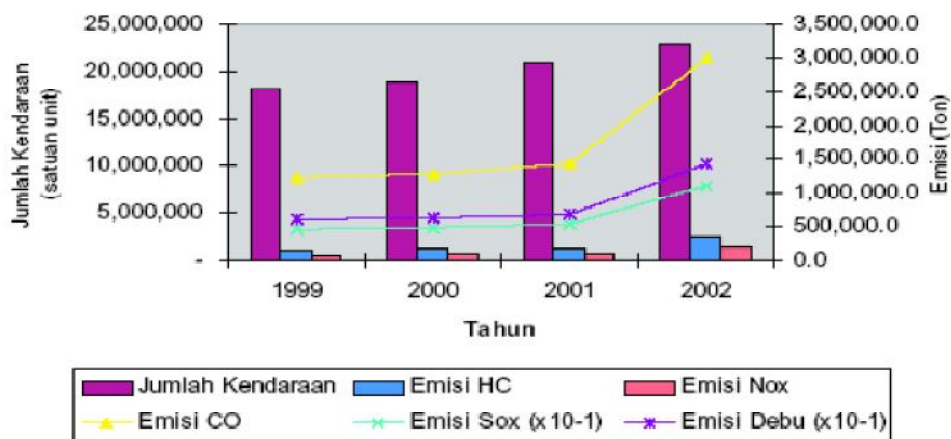


(Sumber Status LH Indonesia 2003)

Gambar 2.1 Pertumbuhan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia

Sedangkan pada gambar 2.2 menunjukkan emisi dari kendaraan bermotor dari tahun 1999 sampai 2002 meningkat terus. Dari berbagai jenis kendaraan bermotor yang ada (mobil penumpang, mobil bis, mobil gerobak, dan sepeda

motor), emisi yang dihasilkan oleh sepeda motor adalah yang tertinggi ini dikarenakan laju percepatan pertambahan sepeda motor setiap tahunnya lebih tinggi dibandingkan dengan jenis kendaraan bermotor lainnya. Salah satu penyebab tingginya tingkat pencemaran dari kendaraan bermotor di Indonesia adalah kemacetan lalu lintas di jalan raya. Lalu lintas macet akibat peningkatan jumlah kendaraan bermotor tidak diikuti oleh peningkatan sarana dan prasarana transportasi. Penyebab kemacetan lainnya adalah pola lalu lintas perkotaan yang terpusat di kawasan kegiatan perekonomian dan perkantoran, kebijakan pengembangan kota yang lemah, kurangnya pelayanan angkutan umum, kondisi jalan yang buruk serta sikap dan perilaku pengemudi.



(Sumber: Status LH Indonesia tahun 2003)

Gambar 2.2 Jumlah Kendaraan dan Perkiraan Besarnya Emisi Kendaraan (Ton/Tahun)

2.4 Partikulat

Hampir semua aktivitas manusia, termasuk kegiatan proyek, akan mengeluarkan emisi partikulat ke udara ambien. Aktivitas ini meliputi konstruksi, operasi, perbaikan dan pemeliharaan dalam semua sub sistem kegiatan sktor perminyakan, antara lain: sektor hulu eksplorasi, pengeboran, transportasi dengan sarana darat, laut, maupun udara, pengolahan dan pemasaran (Soedomo, 2001).

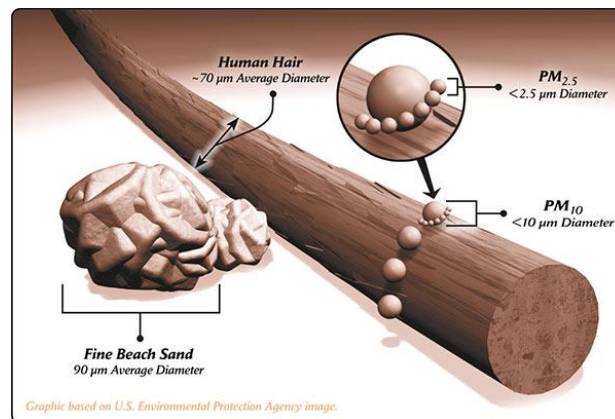
Partikulat dapat bersumber dari vulkanik, hutan, pembakaran padang rumput dan sebagainya. Sumber dari kegiatan manusia contohnya dari pembakaran bahan bakar fosil dari kendaraan, pembangkit tenaga listrik dan dari proses-proses industri (Wikipedia).

Partikulat cair meliputi kabut dan cairan yang tersemprot. Bentuk pencemaran udara yang paling lazim yaitu asap adalah campuran dari partikulat dan gas. Asbut adalah suatu kombinasi asap dan kabut, tetapi istilah ini juga dipakai untuk menyebut jenis-jenis tertentu lain dari pencemaran udara yang kelihatan (Pohan, 2004).

Kandungan utama dari komposisi partikel umumnya adalah karbon dan material yang larut dalam air seperti ammonium sulfat dan debu, sedangkan kandungan dari komposisi yang partikel yang diemisikan dari bahan bakar gasoline kendaraan bermotor yang mengandung karbon dan abu metalik yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang mengandung timbal (Wark, 1982 dalam Surjanto, 2007).

Menurut BPLHD Jawa Barat (2009), partikel secara umum dapat dibagi ke dalam dua bagian, yaitu:

1. Partikel halus (*Fine partikel*): Partikel berukuran lebih kecil dari $2,5\ \mu\text{m}$.
2. Partikel kasar (*Coarse partikel*): Partikel berukuran lebih besar dari $2,5\ \mu\text{m}$.



Gambar 2.3 Particulate Matter 2,5 dan Particulate Matter 10

Terdapat hubungan antara ukuran partikulat polutan dengan sumbernya. Partikulat yang berdiameter lebih besar dari 10 mikron dihasilkan dari proses-proses mekanis seperti erosi angin, penghancuran dan penyemprotan, dan pelindasan benda-benda oleh kendaraan atau pejalan kaki. Partikulat yang berukuran diameter 1-10 mikron termasuk tanah, debu, dan produk-produk pembakaran dari industri lokal dan pada tempat-tempat tertentu juga terdapat garam laut (BPLHD Jawa Barat, 2009).

2.4.1 Jenis Partikulat

2.4.1.1 PM_{2,5}

PM_{2,5} (Particulate Matter _{2,5}) merupakan suatu partikel yang ukuran diameternya kurang dari 2,5 μm . Partikel dibawah 2,5 μm (PM_{2,5}) tidak disaring dalam sistem pernapasan bagian atas dan menempel pada gelembung paru, sehingga dapat menurunkan pertukaran gas. Secara khusus, penelitian yang diterbitkan dalam *Journal of American Medical Association* menunjukkan bahwa PM_{2,5} mengarah tertimbun tinggi di dalam arteri, sehingga menyebabkan inflamasi pembuluh darah dan aterosklerosis (suatu pengerasan arteri yang mengurangi elastisitas, sehingga dapat menyebabkan serangan jantung dan masalah kardiovaskular lainnya).

PM_{2,5} dengan diameter kurang dari 2,5 μm diyakini oleh para pakar lingkungan dan kesehatan masyarakat sebagai pemicu timbulnya infeksi saluran pernapasan, karena PM_{2,5} dapat mengendap pada saluran pernapasan daerah alveoli. Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara, baku mutu udara ambien nasional selama 24 jam untuk PM_{2,5} sebesar 65 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (Suhariyono, 2004).

Parameter PM_{2,5} yang juga sering disebut partikulat halus ini merupakan parameter yang sangat kritis berdampak pada kesehatan. Partikulat udara halus yang berukuran mikron atau submikron sangat berbahaya karena dapat berpenetrasi menembus bagian terdalam dari paru-paru, sehingga dapat menyebabkan gangguan kesehatan diantaranya infeksi saluran pernafasan akut,

kanker paru-paru dan bahkan kematian. Partikulat halus ini pula yang diperkirakan memberi kontribusi besar pada angka kematian yang diakibatkan oleh gangguan kesehatan terkait pencemaran udara (Muhayatun, 2008).

2.4.1.2 PM₁₀

PM₁₀ (Particulate Matter ₁₀) merupakan salah satu pencemaran berbentuk partikulat yang berukuran kurang dari 10 mikro meter. PM₁₀ adalah material yang terdispersi di udara, baik berbentuk padat maupun cair yang berukuran lebih kecil dari 10 µm. PM₁₀ terdiri atas partikel halus berukuran lebih kecil dari 2,5 µm dan sebagian partikel kasar yang berukuran 2,5 sampai 10 µm. Sumber PM₁₀ berbeda untuk setiap daerah, tergantung dari aktivitas di daerah tersebut.

Konsentrasi PM₁₀ yang terinhalasi ke dalam saluran pernafasan adalah 73,7% (Purwana, 1999 dalam Surjanto, 2007). Artinya lebih dari 70% PM₁₀ dapat masuk ke dalam saluran pernafasan, hal ini dapat menyebabkan terjadinya peradangan dan iritasi di saluran pernafasan.

Menurut Pudjiastuti (2002), Depkes atau Departemen Kesehatan mengisaratkan bahwa ukuran ukuran debu yang membahayakan berkisar 0,1 sampai 10 mikron. Ukuran debu atau partikel kurang dari 10 mikron itu tersebut disebut pula PM₁₀. Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara, baku mutu udara ambien nasional selama 24 jam untuk PM₁₀ sebesar 150 µg/Nm³.

2.4.1.3 TSP

TSP (*Total Suspended Particulate*) adalah campuran dari berbagai jenis partikulat seperti debu, PM₁₀ (*Particulate Matter 10*) dan (*Particulate Matter 2,5*) PM_{2.5}. Berdasarkan PP no. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, baku mutu yang ditetapkan untuk TSP yaitu 230 µg/Nm³.

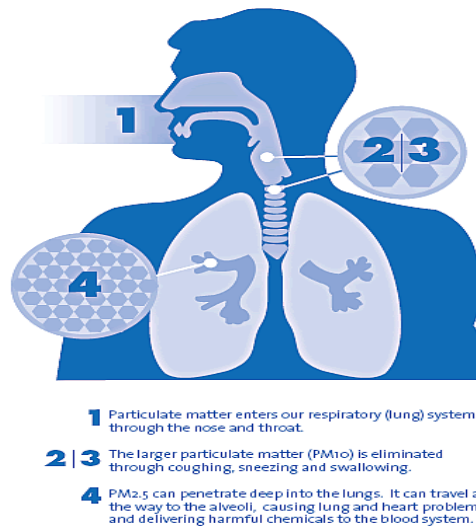
Partikulat ini digunakan untuk memberikan gambaran partikel cair atau padat yang melayang di udaradengan ukuran 0,001 µm sampai dengan ukuran 500

µm. Partikulat tersebut mengandung zat anorganik dan zat organik yang berasal dari berbagai materi dan zat kimia. Sifat partikulat berhubungan dengan kesehatan dan lingkungan meliputi ukuran, komposisi kimia, bentuk dan konsentrasinya (Wark, 1981 dan Calvert, 1984 dalam Surjanto, 2007).

Debu merupakan salah satu bahan yang sering disebut sebagai partikel yang melayang di udara (*Suspended Particulate Matter/ SPM*) dengan ukuran 1 mikron sampai dengan 500 mikron. Dalam kasus pencemaran udara baik dalam maupun ruang gedung (*Indoor and Outdoor Pollution*) debu sering dijadikan salah satu indikator pencemaran yang digunakan untuk menunjukkan tingkat bahaya, baik terhadap lingkungan maupun terhadap kesehatan dan keselamatan kerja. Partikel debu akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang laying di udara kemudian masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernapasan. Selain dapat membahayakan terhadap kesehatan juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan dapat mengadakan berbagai reaksi kimia sehingga komposisi debu di udara menjadi partikel yang sangat rumit karena merupakan campuran dari berbagai bahan dengan ukuran dan bentuk yang relatif berbeda-beda (Rahman, 2008).

2.4.2 Dampak Pencemaran Partikulat

Menurut Wardhana (2001), polutan masuk ke dalam tubuh manusia melalui sistem pernafasan, oleh karena itu yang resiko merugikan terjadi pada sistem pernafasan. Faktor yang paling mempunyai pengaruh terhadap sistem pernafasan adalah ukuran partikulat, karena ukuran partikulat tersebut yang menentukan seberapa jauh penetrasi partikulat masuk ke dalam sistem pernafasan.



Gambar 2.4 Proses Masuknya Partikulat ke dalam Tubuh Manusia

Sistem pernafasan mempunyai sistem pertahanan untuk mencegah masuknya partikulat-partikulat baik dalam bentuk cair maupun bentuk padat ke dalam paru-paru. Bulu hidung mencegah masuknya partikulat yang berukuran besar. Sedangkan partikel yang lebih kecil akan dicegah masuk oleh membran mukosa yang terdapat di sepanjang sistem pernafasan dan merupakan permukaan tempat partikulat menempel.

Pada sistem pernafasan terdapat bulu-bulu halus (silia) yang bergerak bersama mukosa membentuk aliran yang membawa partikulat yang ditangkapnya keluar dari sistem pernafasan dimana partikulat tersebut tertelan.

Partikulat yang berukuran 0,5 – 5,0 mikron (PM_{2,5} dan PM₁₀) dapat terkumpul di dalam paru-paru sampai pada bronchili dan untuk partikulat halus PM_{2,5} dapat bepenetrasi hingga alveoli. Pembersihan partikulat yang masuk ke dalam alveoli sangat lambat dan tidak sempurna, sehingga beberapa partikulat yang masuk ke dalam alveoli dapat terabsorpsi ke dalam darah.

Menurut Fardiaz (2003), partikulat yang masuk ke dalam paru-paru dapat membahayakan karena:

1. Partikulat tersebut dimungkinkan mempunyai racun karena sifat-sifat kimia dan fisiknya.

2. Partikulat tersebut bersifat inert (tidak bereaksi) tetapi jika tertinggal di dalam saluran pernafasan dapat mengganggu pembersihan bahan-bahan lain yang berbahaya.
3. Partikulat tersebut membawa molekul-molekul gas berbahaya, baik dengan cara mengabsorpsi atau mengadsorpsi yang menyebabkan molekul-molekul gas tersebut dapat mencapai dan tertinggal di dalam paru-paru.

Kehadiran PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di udara ambien berdampak langsung terhadap kesehatan masyarakat terutama kesehatan saluran pernapasan (Hien, 2003 dalam Ruslinda, 2009). Menurut (Profil Kesehatan DIY 2008), Penyakit menular yang selalu masuk dalam sembilan besar penyakit (Puskesmas) selama beberapa tahun terakhir adalah ISPA, penyakit saluran nafas (Bronchitis, Asma, Pneumonia). Kehadiran penyakit tersebut diduga berasal dari akibat pencemaran udara.

2.5 Penelusuran Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Rahman (2008) menunjukkan bahwa hubungan antara kepadatan lalu lintas dan konsentrasi TSP di udara menunjukkan hubungan yang positif dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,567. Korelasi tersebut menunjukkan hubungan yang kuat tetapi angka signifikansi dari hubungan dua variabel tersebut 0,240 atau lebih dari 0,05. Sehingga hubungan yang terjadi antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi TSP ini tidak signifikan.

Sedangkan dari penelitian Gumbira (2006) hubungan antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi TSP dengan metode korelasi polynomial menunjukkan hubungan korelasi yang kuat, dengan nilai $r = 0.7426$. Akan tetapi nilai signifikansi dari korelasi tersebut tidak disebutkan, sehingga tidak dapat diketahui apakah hubungan antara kepadatan lalu lintas dan konsentrasi tersebut signifikan atau tidak.

2.6 Hipotesa

Kepadatan lalu lintas diduga mempunyai hubungan yang kuat terhadap konsentrasi pencemar udara dalam bentuk partikulat berupa $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di sekitar kawasan Kota Yogyakarta.

BAB III

METODE PENELITIAN

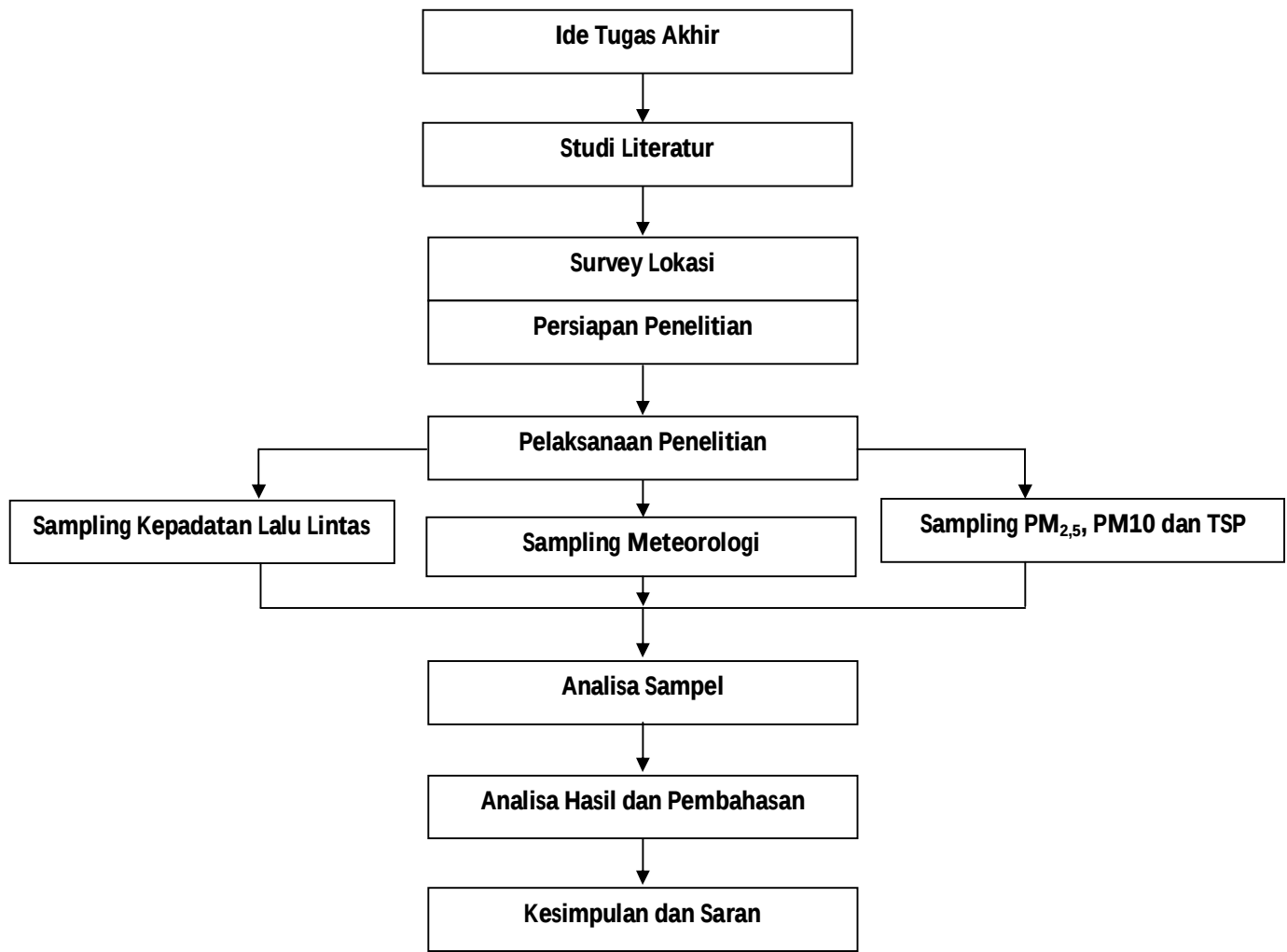
3.1 Umum

Di daerah perkotaan pada umumnya sering terjadi masalah pencemaran udara. Banyak faktor yang menyebabkan pencemaran udara telah dilakukan penelitian oleh para ahli untuk mencari solusi dari dampak yang ditimbulkan dari masalah pencemaran udara. Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya pencemaran udara adalah dengan melakukan pengelolaan kualitas udara. Adapun usaha dari pengelolaan kualitas udara adalah dengan monitoring kualitas udara yang dilakukan secara periodik. Monitoring kualitas udara merupakan usaha dalam rangka identifikasi bahaya pencemar udara yang ada di lingkungan serta potensi yang menimbulkan efek negatif.

Dalam penelitian ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran tentang pengaruh kepadatan lalu lintas terhadap konsentrasi partikulat ($PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP) udara ambient di sekitar kawasan Kota Yogyakarta dan penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam upaya penanggulangan masalah pencemaran udara di kawasan Kota Yogyakarta.

3.2 Objek Penelitian

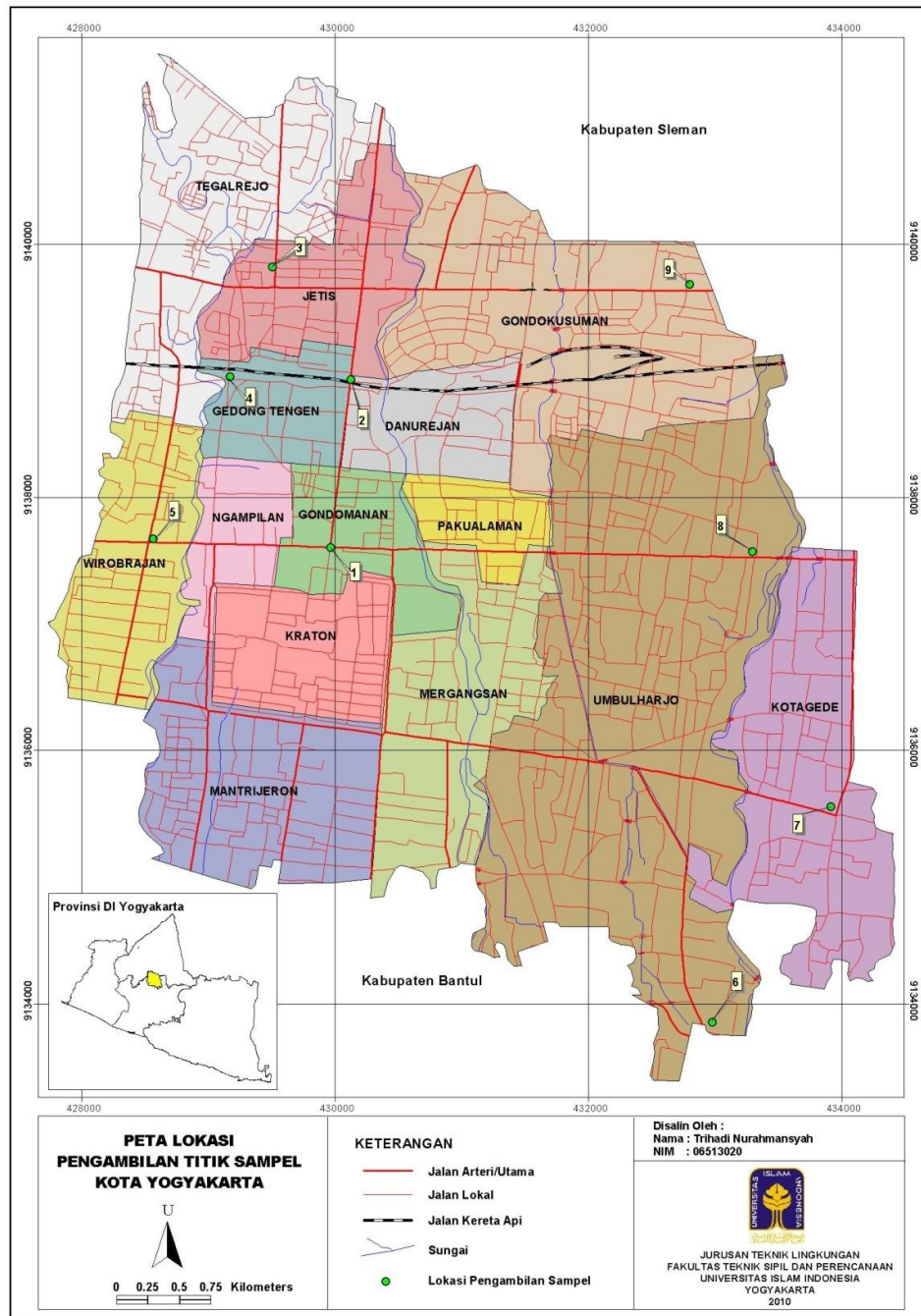
Sebagai objek dalam penelitian ini adalah konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di udara ambient di sekitar kawasan Kota Yogyakarta dan kepadatan lalu lintas di sekitar lokasi penelitian itu tersebut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi yang dijadikan sebagai objek penelitian ini terdiri dari sembilan titik lokasi di kawasan Kota Yogyakarta. Kesembilan lokasi yang dijadikan objek untuk pengambilan sampel tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Tabel 3.1. Sedangkan untuk analisa pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian

Tabel 3.1 Lokasi Pengambilan Sampel

No	Hari dan Tanggal	Lokasi Penelitian
1	Selasa, 25 Mei 2010	Simpang Empat Kantor Pos
2	Sabtu, 29 Mei 2010	Simpang Tiga Malioboro
3	Selasa, 1 Juni 2010	Pingit, Jalan Magelang
4	Sabtu, 5 Juni 2010	Simpang Empat Gedong Tengen
5	Selasa, 8 Juni 2010	Simpang Empat Wirobrajan
6	Sabtu, 12 Juni 2010	Simpang Empat Terminal Giwangan
7	Sabtu, 19 Juni 2010	Simpang Tiga Kotagede
8	Selasa, 22 Juni 2010	Simpang Empat SGM
9	Sabtu, 26 Juni 2010	Jalan Solo Batas Kota Sleman

(Sumber: Data Primer 2010)

3.4 Jenis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis data, yaitu:

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diambil secara langsung pada saat penelitian dilakukan atau data yang dihasilkan dari suatu observasi. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di udara ambient di sekitar kawasan Kota Yogyakarta.
2. Kepadatan lalu lintas di sekitar lokasi penelitian.
3. Suhu udara di sekitar lokasi penelitian.
4. Kecepatan angin di sekitar lokasi penelitian.
5. Kelembaban relative di sekitar lokasi penelitian.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diambil secara tidak langsung dan dijadikan sebagai data pelengkap dalam penelitian ini. Data yang diperlukan untuk mendukung penelitian ini adalah data arah angin dari BMKG Yogyakarta.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini terdiri dari variabel-variabel, antara lain: variabel bebas yaitu kepadatan lalu lintas kendaraan bermotor, sedangkan untuk variabel terikat yaitu konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di udara ambient di sekitar lokasi penelitian.

3.6 Metoda Sampling dan Pengumpulan Data

Metode penelitian yang digunakan adalah metode observasional, yaitu suatu metode untuk memperoleh data di lapangan dengan cara pengamatan, pengukuran dan pencatatan secara sistematis terhadap fenomena yang terjadi. Metode sampling yang dipergunakan untuk parameter kualitas udara dan lalu lintas menggunakan metode pengambilan sampling sesaat (grab sampling). Adapun acuan yang digunakan dalam pengambilan data dapat dilihat pada tabel 3.2 dibawah ini:

Tabel 3.2 Acuan yang Digunakan

No	Parameter	Acuan	Metode
1	$PM_{2,5}$	ASTMD 4096	Gravimetri
2	PM_{10}	ASTMD 4096	Gravimetri
3	TSP	SNI 19-7119.3-2005	Gravimetri

3.7 Pengambilan Data

3.7.1 Pengambilan Data Volume Lalu Lintas

Pelaksanaan sampling ini meliputi beberapa tahap, yaitu:

a. Persiapan Alat

Alat yang digunakan:

1. Counter Penghitung

b. Pengambilan Sampel

Pengambilan data kepadatan lalu lintas dengan menghitung semua kendaraan yang melewati tempat dimana dilakukan sampling. Untuk waktu

pengambilan data yaitu selama 1,5 jam diman dalam waktu 1,5 jam tersebut terbagi dalam 15 menit. Uraian waktu pengambilan data kepadatan lalu lintas dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Waktu Pengambilan Sampel Kepadatan Lalu Lintas

Sampling	I	II	III	IV	V	VI
Pagi	06.30	06.45	07.00	07.15	07.30	07.45
	-	-	-	-	-	-
	06.45	07.00	07.15	07.30	07.45	08.00
Siang	11.30	11.45	12.00	12.15	12.30	12.45
	-	-	-	-	-	-
	11.45	12.00	12.15	12.30	12.45	13.00
Sore	15.30	15.45	16.00	16.15	16.30	16.45
	-	-	-	-	-	-
	15.45	16.00	16.15	16.30	16.45	17.00
Malam	23.30	23.45	00.00	00.15	00.30	00.45
	-	-	-	-	-	-
	23.45	00.00	00.15	00.30	00.45	01.00

(Sumber: Data Primer 2010)

Sedangkan untuk contoh form pengambilan data kepadatan lalu lintas dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Form Pengambilan Data Kepadatan Lalu Lintas Pada Pagi Hari

No	Waktu	SPM	Kendaraan Ringan (LV)				Kendaraan Berat			S/SPD
			MP	AUP	PU	BS	BUSB	T2AS	T3AS	
1	06.30-06.45									
2	06.45-07.00									
3	07.00-07.15									
4	07.15-07.30									
5	07.30-07.45									
6	07.45-08.00									

(Sumber: Data Primer 2010)

3.7.2 Sampling Particulate Matter 2,5 (PM_{2,5})

Pelaksanaan sampling ini meliputi beberapa tahap, yaitu:

a. Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan:

1. E – Sampler dengan *Cyclone* ukuran 2,5 mikron
2. Generator
3. Kabel Gulung

Bahan yang digunakan:

1. Kertas Filter Halus

b. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel untuk Particulate Matter 2,5 (PM_{2,5}) di udara ambient menggunakan alat E-Sampler atau *Environmental Sampler* dan menggunakan filter halus yang diletakkan pada tempat yang telah tersedia pada alat E-Sampler itu tersebut. Dalam pengambilan sampel ini harus benar-benar teliti dan hati-hati agar tidak terjadi kesalahan dalam pengambilan sampel.

Tahapan dalam pengambilan sampel *Particulate Matter 2,5 (PM_{2,5})* di udara ambient adalah sebagai berikut:

1. Rangkai alat *E-Sampler (Environmental Sampler)* dengan benar.
2. Setelah *E-Sampler (Environmental Sampler)* tersusun dengan benar sesuai petunjuk, kemudian pasang *Cyclone* dengan ukuran 2,5 mikron pada ujung alat E-Sampler (*Environmental Sampler*) itu tersebut.
3. Pasang filter halus yang telah disiapkan pada alat *E-Sampler (Environmental Sampler)* tersebut.
4. Setting alat *E-Sampler (Environmental Sampler)* dengan cuplikan setiap menitnya, agar data dapat terbaca pada komputer tiap satu menit dan mendapatkan data yang lebih detail.
5. Apabila baterai atau aki yang terdapat pada *E-Sampler (Environmental Sampler)* telah habis, hubungkan connectornya pada

rol kabel yang telah terhubung dengan generator yang kondisinya dalam keadaan menyala atau hidup.

6. Setelah waktu 1 jam ambil kertas filter halus yang terdapat pada *E-Sampler (Environmental Sampler)*.
7. Simpan kertas filter halus tersebut untuk ditimbang dan di analisa di labotatorium.

c. Pemeriksaan Sampel

Untuk mengetahui kandungan atau konsentrasi *Particulate Matter* 2,5 ($PM_{2,5}$) dapat diketahui dengan dua cara, yaitu:

1. Secara komputerize yaitu dengan melihat konsentrasi yang masuk pada *E-Sampler (Environmental Sampler)* menggunakan media komputer yang sebelumnya telah diinstal terlebih dahulu *software*nya.
2. Secara manual yaitu dengan menimbang kertas filter halus setelah dilakukan penelitian, setelah didapat hasil dari penimbangan filter halus tersebut kemudian dimasukkan dalam perhitungan untuk mengetahui konsentrasinya.



Gambar 3.3 Environmental Sampler (E-Sampler) dengan Ukuran 2,5 mikron

3.7.3 Sampling Particulate Matter 10 (PM_{10})

Pelaksanaan sampling ini meliputi beberapa tahap, yaitu:

a. Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan:

1. E-Sampler dengan *Cyclone* ukuran 10 mikron

2. Generator
3. Kabel Gulung

Bahan yang digunakan:

1. Kertas Filter Halus

b. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel untuk *Particulate Matter 10 (PM₁₀)* di udara ambient menggunakan alat *E-Sampler* atau *Environmental Sampler* dan menggunakan filter halus yang diletakkan pada tempat yang telah tersedia pada alat *E-Sampler* itu tersebut. Dalam pengambilan sampel ini harus benar-benar teliti dan hati-hati agar tidak terjadi kesalahan dalam pengambilan sampel.

Tahapan dalam pengambilan sampel *Particulate Matter 10 (PM₁₀)* di udara ambient adalah sebagai berikut:

1. Rangkai alat *E-Sampler (Environmental Sampler)* dengan benar.
2. Setelah *E-Sampler (Environmental Sampler)* tersusun dengan benar sesuai petunjuk, kemudian pasang *Cyclone* dengan ukuran 10 mikron pada ujung alat *E-Sampler (Environmental Sampler)* itu tersebut.
3. Pasang filter halus yang telah disiapkan pada alat *E-Sampler (Environmental Sampler)* tersebut.
4. Setting alat *E-Sampler (Environmental Sampler)* dengan cuplikan setiap menitnya, agar data dapat terbaca pada komputer tiap satu menit dan mendapatkan data yang lebih detail.
5. Apabila baterai atau aki yang terdapat pada *E-Sampler (Environmental Sampler)* telah habis, hubungkan connectornya pada rol kabel yang telah terhubung dengan generator yang kondisinya dalam keadaan menyala atau hidup.
6. Setelah waktu 23 jam ambil kertas filter halus yang terdapat pada *E-Sampler (Environmental Sampler)*.
7. Simpan kertas filter tersebut untuk ditimbang dan di analisa di labotatorium.

c. Pemeriksaan Sampel

Untuk mengetahui kandungan atau konsentrasi *Particulate Matter 10* (PM_{10}) dapat diketahui dengan dua cara, yaitu:

1. Secara komputerize yaitu dengan melihat konsentrasi yang masuk pada *E-Sampler (Environmental Sampler)* menggunakan media komputer yang sebelumnya telah diinstal terlebih dahulu softwarenya.
2. Secara manual yaitu dengan menimbang kertas filter halus setelah dilakukan penelitian, setelah didapat hasil dari penimbangan filter halus tersebut kemudian dimasukkan dalam perhitungan untuk mengetahui konsentrasinya.



Gambar 3.4 Environmental Sampler (E-Sampler) dengan Ukuran 10 mikron

3.7.4 Sampling Total Suspended Particulate (TSP)

Pelaksanaan sampling ini meliputi beberapa tahap, yaitu:

a. Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan:

1. *High Volume Air Sampler*
2. Generator
3. Kabel Gulung

Bahan yang digunakan:

1. Kertas Filter Halus

b. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel untuk *Total Suspended Particulate (TSP)* di udara ambient menggunakan alat *High Volume Air Sampler (HVAS)* dan menggunakan filter halus yang diletakkan pada tempat yang telah tersedia

pada alat *HVAS* itu tersebut. Dalam pengambilan sampel ini harus benar-benar teliti dan hati-hati agar tidak terjadi kesalahan dalam pengambilan sampel.

Tahapan dalam pengambilan sampel *Total Suspended Particulate (TSP)* di udara ambient adalah sebagai berikut:

1. Rangkai alat *HVAS (High Volume Air Sampler)* dengan benar sesuai dengan petunjuk.
2. Buka bagian atas *HVAS (High Volume Air Sampler)* guna meletakkan kertas filter halus yang akan digunakan.
3. Letakkan *HVAS (High Volume Air Sampler)* dan generator pada titik yang telah dilakukan dalam pengambilan sampel.
4. Hidupkan generator dan hubungkan *HVAS (High Volume Air Sampler)* pada generator yang telah hidup.
5. Tunggu *HVAS (High Volume Air Sampler)* sampai dengan 24 jam pengukuran.
6. Setelah 24 jam matikan *HVAS (High Volume Air Sampler)* dan diambil kertas filter halus yang digunakan untuk pengukuran.
7. Simpan kertas filter tersebut untuk ditimbang dan di analisa di labotatorium.

c. Pemeriksaan Sampel

Untuk mengetahui kandungan atau konsentrasi *Total Suspended Particulate (TSP)* dapat diketahui dengan cara, yaitu:

1. Kertas filter halus yang telah terisi dengan sampel dimasukkan kedalam oven selama 2 jam dengan suhu 100° C.
2. Lalu filter tersebut dimasukkan ke dalam desikator selama 20 menit.
3. Selanjutnya filter halus tersebut ditimbang menggunakan timbangan analitik dan kemudian hasil dari penimbangan tersebut dimasukkan ke dalam perhitungan untuk mengetahui konsentrasi TSP.



Gambar 3.5 High Volume Air Sampler (HVAS)

3.7.5 Pengambilan Data Meteorologi (Suhu Udara, Tekanan Udara, Kelembaban, Arah dan Kecepatan Angin)

Pengambilan data meteorologi seperti suhu udara, tekanan udara, kelembaban, arah dan kecepatan angin digunakan sebagai standar pengambilan sampling udara. Pengambilan data tersebut menggunakan alat *weather station* yang dimana dalam alat tersebut dapat diketahui sekaligus kondisi suhu udara, tekanan udara, kelembaban, arah dan kecepatan angin. Pencatatan data dilakukan setiap satu jam sekali selama 24 jam.



Gambar 3.6 Weather Station

3.8 Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif digunakan untuk menjelaskan kualitas udara di kawasan Kota Yogyakarta dengan membandingkan hasil pengukuran dari penelitian ini tersebut dengan baku mutu udara ambient. Analisis deskriptif ini juga digunakan untuk menggambarkan kondisi kepadatan lalu lintas di sekitar lokasi sampling.

2. Analisis Grafis

Analisis grafis ini digunakan untuk membantu menjelaskan hasil yang diperoleh di lapangan dan menjelaskan hubungan antar faktor yang saling berpengaruh.

3. Analisis Kepadatan Lalu Lintas

Untuk mengetahui tingkat pelayanan jalan di setiap titik lokasi penelitian dilakukan dengan cara menghitung derajat kejenuhan di setiap titik sesuai dengan MKJI 1997. Persamaan yang digunakan dalam menghitung derajat kejenuhan dapat dilihat pada persamaan 3.1 yang dijabarkan pada persamaan 3.2

$$D = Q / C \dots\dots\dots(\text{Persamaan 3.1})$$

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sf} \times FC_{sp} \times FC_{cs} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 3.2})$$

Dengan : D = Derajat Kejenuhan
Q = Volume Lalu Lintas (smp/jam)
C = Kapasitas (smp/jam)
C_o = Kapasitas dasar (kendaraan/jam)
FC_w = Faktor Koreksi Lebar Jalur
FC_{sf} = Faktor Koreksi Hambatan Samping
FC_{sp} = Faktor Koreksi Pemisah Arah
FC_{cs} = Faktor Korelasi Ukuran Kota

4. Perhitungan *Particulate Matter* 2,5 (*PM*_{2,5}), *Particulate Matter* 10 (*PM*₁₀) dan *Total Suspended Particulate* (*TSP*)

Pada dasarnya prinsip umum dalam penghitungan konsentrasi partikulat berupa *Particulate Matter* 2,5 (*PM*_{2,5}), *Particulate Matter* 10 (*PM*₁₀) dan *Total Suspended Particulate* (*TSP*) adalah sama, yaitu:

$$\text{Konsentrasi partikulat} = \frac{\text{Berat Isi}-\text{Berat Kosong}}{\text{Volume yang masuk}} \dots\dots(\text{Persamaan 3.3})$$

Dengan,

$$\text{Volume Udara} = \text{Debit Udara yang masuk} \times \text{Waktu Sampling}$$

5. Analisis Statistika

Untuk mengetahui hubungan antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP serta hubungan antara kepadatan lalu lintas khususnya kendaraan jenis *heavy vehicle* (bus besar, truk2AS dan truk3AS) dengan konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di udara menggunakan analisis korelasi berganda. Menurut Sugiyono (2005) untuk mempelajari derajat asosiasi antara kedua variabel dalam statistika dikenal dengan nama analisis korelasi. Persamaan yang digunakan dalam uji korelasi berganda dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut:

$$r_{y,x_1...x_k} = \frac{a_1 \sum x_1 y + a_2 \sum x_2 y + \dots + a_k \sum x_k y}{\sum y^2} \dots \dots \dots (\text{Persamaan 3.4})$$

Untuk menguji signifikansi koefisien korelasi ini dapat melihat dari nilai signifikansi pada nilai Sig pada tabel korelasi. Dengan menggunakan uji signifikansi, rumusan hipotesis yang akan diuji adalah:

H_0 = Kontribusi gabungan dari variabel independen tidak signifikan

H_1 = Kontribusi gabungan dari variabel independen terhadap variabel dependen adalah signifikan.

Setelah dilakukan perhitungan koefisien korelasi (r), kita dapat melakukan pengambilan keputusan dalam analisis korelasi dengan tingkat angka signifikansi sebesar 0,05 atau pada taraf kepercayaan 95%. Hasil dari penghitungan dibandingkan dengan menggunakan kriteria sebagai berikut:

- Jika angka signifikansi hasil penelitian $> 0,05$, maka H_0 ditolak.
- Jika angka signifikansi hasil penelitian $> 0,05$, maka H_1 diterima.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di sembilan titik lokasi Kota Yogyakarta. Dalam penelitian ini terdapat beberapa tempat yang dimana tempat itu merupakan batas Kota Yogyakarta dan tempat yang berada di pusat Kota Yogyakarta. Pada setiap lokasi penelitian ini masing-masing titik lokasi mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Sehingga dari penelitian ini dapat diketahui beberapa perbedaan dalam besar-kecilnya konsentrasi partikulat itu tersebut dihasilkan. Berikut adalah titik lokasi yang dijadikan sebagai objek peniltian:

Tabel 4.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

No	Hari dan Tanggal	Lokasi Penelitian
1	Selasa, 25 Mei 2010	Simpang Empat Kantor Pos Pusat Yogyakarta
2	Sabtu, 29 Mei 2010	Simpang Tiga Malioboro Hotel INA GARUDA
3	Selasa, 1 Juni 2010	Pingit, Jalan Magelang
4	Sabtu, 5 Juni 2010	Simpang Empat Gedong Tengen
5	Selasa, 8 Juni 2010	Simpang Empat Wirobrajan
6	Sabtu, 12 Juni 2010	Simpang Empat Terminal Giwangan
7	Sabtu, 19 Juni 2010	Simpang Tiga Kotagede (Tom Silver)
8	Selasa, 22 Juni 2010	Jalan Kusumanegara Simpang Empat SGM
9	Sabtu, 26 Juni 2010	Jalan Solo Batas Kota Sleman

(Sumber: Data Primer 2010)

4.2 Hasil Pengukuran Meteorologi

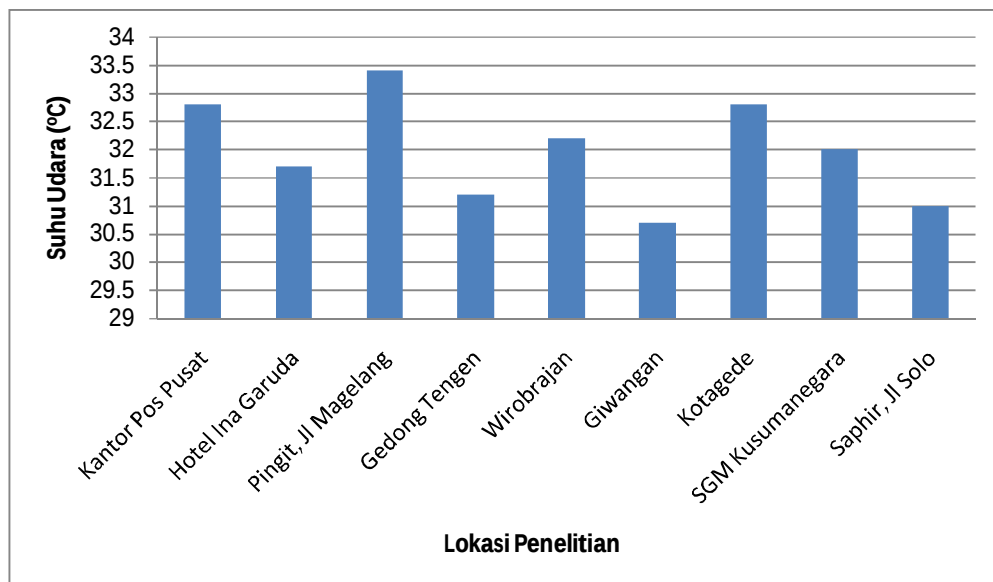
4.2.1 Suhu Udara

Suhu merupakan ukuran intensitas panas dan bukan kuantitas panas (Arpan, 2004). Suhu udara ini sangat dipengaruhi oleh sinar matahari. Suhu udara cepat sekali berubah-ubah. Hasil pengukuran suhu di lokasi penelitian dapat dilihat pada tabel 4.2 dan gambar 4.1:

Tabel 4.2 Suhu Udara di Lokasi Penelitian

No	Lokasi	Suhu (°C)
1	Kantor Pos Pusat	32.8
2	Hotel Ina Garuda	31.7
3	Pingit, Jl Magelang	33.4
4	Gedong Tengen	31.2
5	Wirobrajan	32.2
6	Giwangan	30.7
7	Kotagede	32.8
8	SGM Kusumanegara	32
9	Saphir, Jl Solo	31

(Sumber: Data Primer 2010)



Gambar 4.1 Suhu Udara di Lokasi Penelitian

Dari tabel 4.2 dan gambar 4.1 menunjukkan bahwa suhu tertinggi di lokasi Pingit, Jl Magelang. Tingginya suhu udara ini disebabkan beberapa faktor. Faktor yang menyebabkan tinggi suhu udara antara lain sinar matahari dan gas buang kendaraan bermotor yang mengandung gas CO₂. Gas CO₂ mampu mengikat panas sehingga meningkatkan suhu udara (Rahman, 2008). Suhu maksimum umumnya terjadi pada siang hari karena intensitas panas matahari dan banyaknya gas buang kendaraan terjadi pada waktu siang hari.

Faktor tanaman mempunyai fungsi untuk menurunkan derajat panas melalui pemakaian panas untuk proses fotosintesis (Fandeli, 1998). Lokasi Pingit, Jalan Magelang merupakan lokasi yang mempunyai tingkat suhu udara tertinggi dibandingkan dengan lokasi lain. Hal ini disebabkan pada lokasi tersebut hampir tidak terdapat tanaman yang berada disekitar lokasi penelitian serta didukung dengan kepadatan lalu lintas yang melintasi lokasi tersebut.

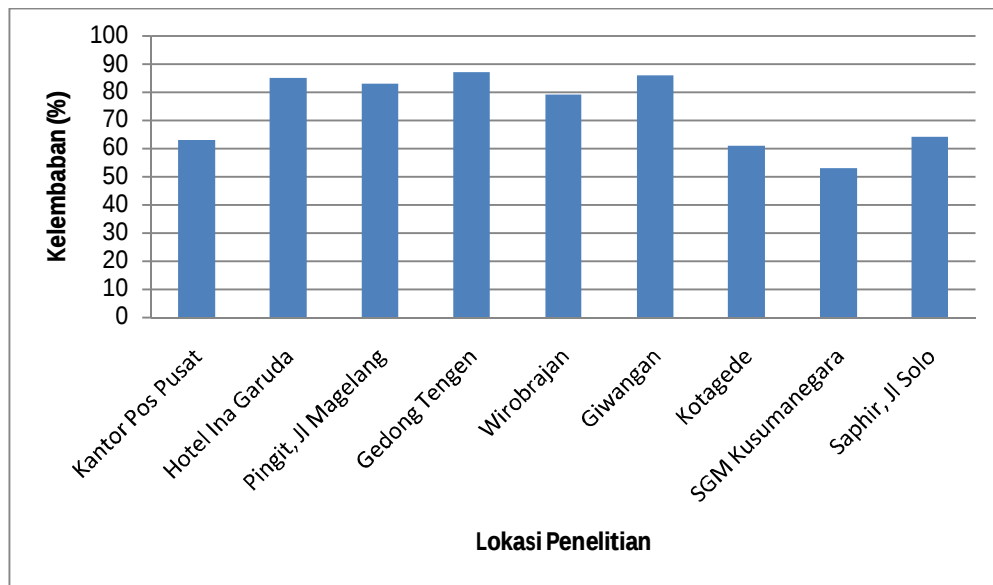
4.2.2 Kelembaban Udara

Kelembaban menyatakan banyaknya uap air dalam udara. Jumlah udara ini sebenarnya hanya merupakan sebagian kecil dari atmosfer, yaitu bervariasi dari 0% sampai dengan 5% dari jumlah massa udara (Arpan, 2004). Kelembaban udara di lokasi penelitian dapat dilihat pada tabel 4.3 dan gambar 4.2.

Tabel 4.3 Kelembaban Udara di Lokasi Penelitian

No	Lokasi	Kelembaban (%)
1	Kantor Pos Pusat	63
2	Hotel Ina Garuda	85
3	Pingit, Jl Magelang	83
4	Gedong Tengen	87
5	Wirobrajan	79
6	Giwangan	86
7	Kotagede	61
8	SGM Kusumanegara	53
9	Saphir, Jl Solo	64

(Sumber: Data Primer 2010)



Gambar 4.2 Kelembaban Udara di Lokasi Penelitian

Terdapat beberapa faktor yang dapat menentukan banyaknya kelembaban udara atau banyaknya uap air di udara, antara lain suhu udara, kekeringan udara, kecepatan angin dan tersedianya air. Faktor tanaman di lokasi penelitian kurang membantu dalam meningkatnya jumlah uap air di udara. Hal ini karena tanaman mengalami proses transpirasi yang besar sehingga kandungan uap air juga kecil (Rahman, 2008). Dari tabel 4.3 dan gambar 4.2 dapat diketahui bahwa lokasi Gedong Tengen merupakan lokasi dengan kelembaban udara paling tinggi dibandingkan dengan lokasi yang lain.

4.2.3 Kecepatan dan Arah Angin

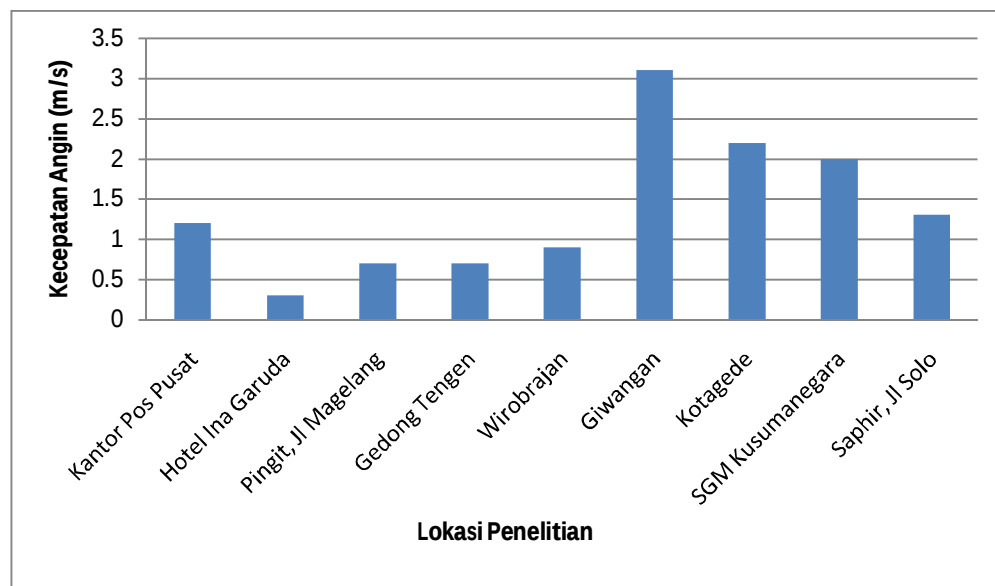
Angin adalah udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan udara dengan arah aliran angin dari tempat yang memiliki tekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah atau dari daerah yang memiliki suhu / temperatur rendah ke wilayah bersuhu tinggi. Angin terjadi karena perbedaan tekanan atmosfer antara tempat yang satu dengan tempat yang lain. Kecepatan angin dapat menentukan besarnya kehilangan air melalui proses evapotranspirasi dan mempengaruhi kejadian hujan. Angin sangat mempengaruhi distribusi bahan pencemar udara di

suatu lokasi. Arah dan kecepatan angin di lokasi penelitian dapat dilihat pada tabel 4.4, sedangkan diagram kecepatan angin dapat dilihat pada gambar 4.3.

Tabel 4.4 Arah dan Kecepatan Angin di Lokasi Penelitian

No	Lokasi	Kecepatan Angin (m/s)	Arah
1	Kantor Pos Pusat	1.2	Barat
2	Hotel Ina Garuda	0.3	Utara
3	Pingit, Jl Magelang	0.7	Utara
4	Gedong Tengen	0.7	Utara
5	Wirobrajan	0.9	Utara
6	Giwangan	3.1	Timur Laut
7	Kotagede	2.2	Timur
8	SGM Kusumanegara	2	Timur
9	Saphir, Jl Solo	1.3	Barat

(Sumber: Data Primer 2010)



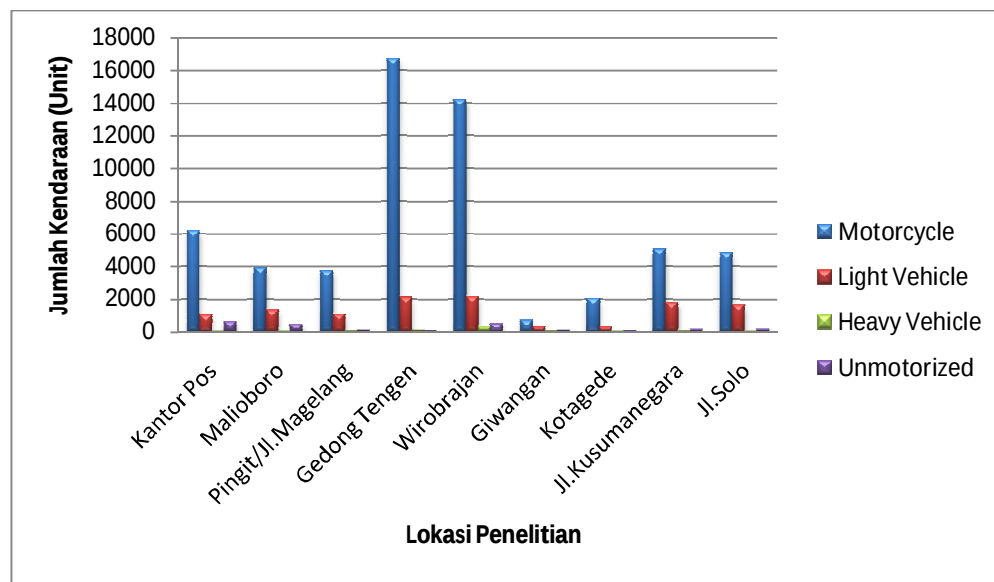
Gambar 4.3 Kecepatan Angin di Lokasi Penelitian

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan angin antara lain lebar ruas jalan, tanaman hijau di ruas jalan, banyaknya tingkat kepadatan lalu lintas

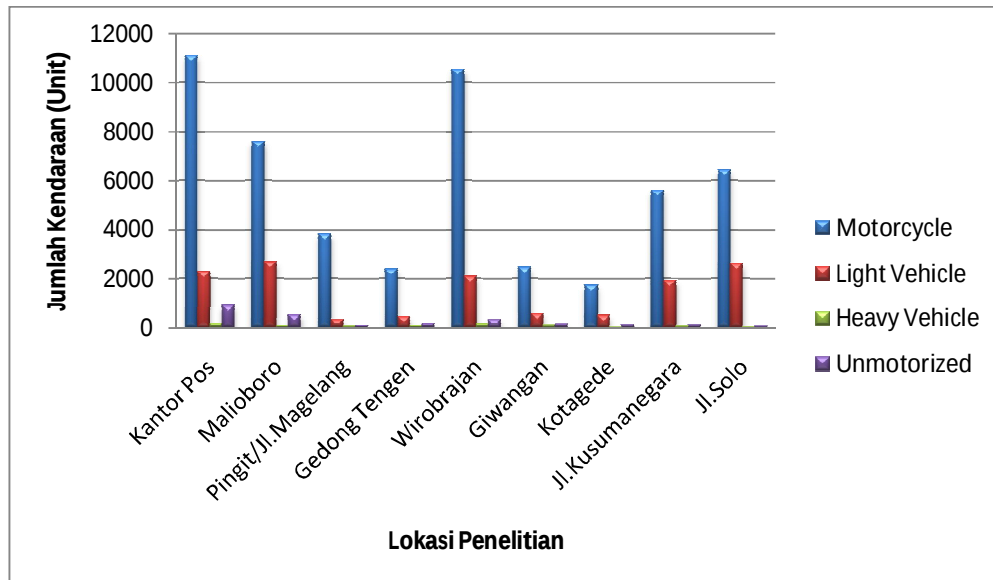
dan tinggi rendahnya bangunan di sekitar ruas jalan. Lokasi Giwangan merupakan lokasi dengan kecepatan angin paling tinggi dibandingkan dengan lokasi lain. Kecepatan angin di lokasi ini dipengaruhi oleh beberapa factor, antara lain: di lokasi ini merupakan lokasi yang mempunyai ruas jalan paling lebar dibandingkan dengan lokasi lain dan sedikitnya tanaman hijau di lokasi ini menyebabkan tingginya kecepatan angin di lokasi ini.

4.3 Survey Kepadatan Lalu Lintas

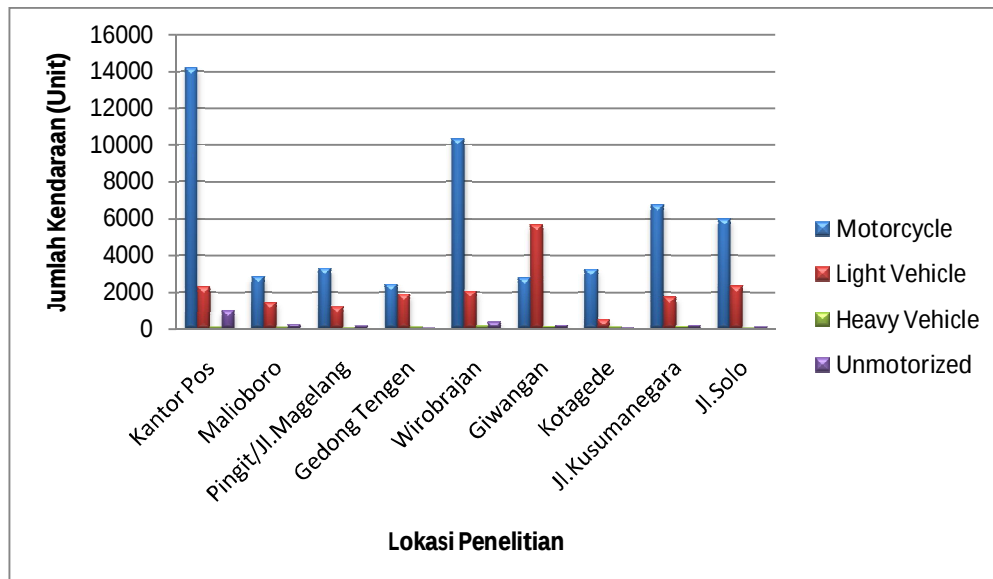
Penghitungan volume kepadatan lalu lintas ini dilakukan dengan menghitung jumlah kendaraan yang melewati di lokasi penelitian. Penghitungan jumlah kendaraan ini terbagi dalam 4 kategori waktu penghitungan dan 4 kategori jenis kendaraan di setiap lokasi penelitian. Dalam kategori waktu terbagi menjadi pagi (06.30 - 08.00), siang (11.30 - 12.00), sore (15.30 - 17.00) dan malam (23.30 - 01.00). Sedangkan untuk kategori jenis kendaraan juga terbagi menjadi 4 kategori, yaitu: jenis *motorcycle* (sepeda motor), jenis *light vehicle* (kendaraan ringan), jenis *heavy vehicle* (kendaraan berat) dan *unmotorized* (kendaraan tidak bermesin). Berikut hasil dari survey volume lalu lintas dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



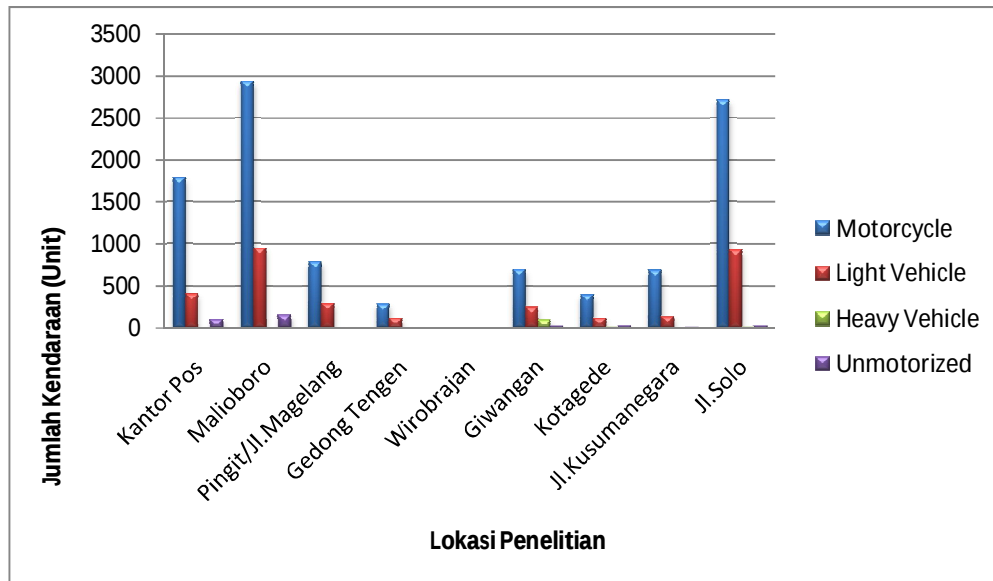
Gambar 4.4 Volume Kendaraan Pagi Hari (06.30 - 08.00)



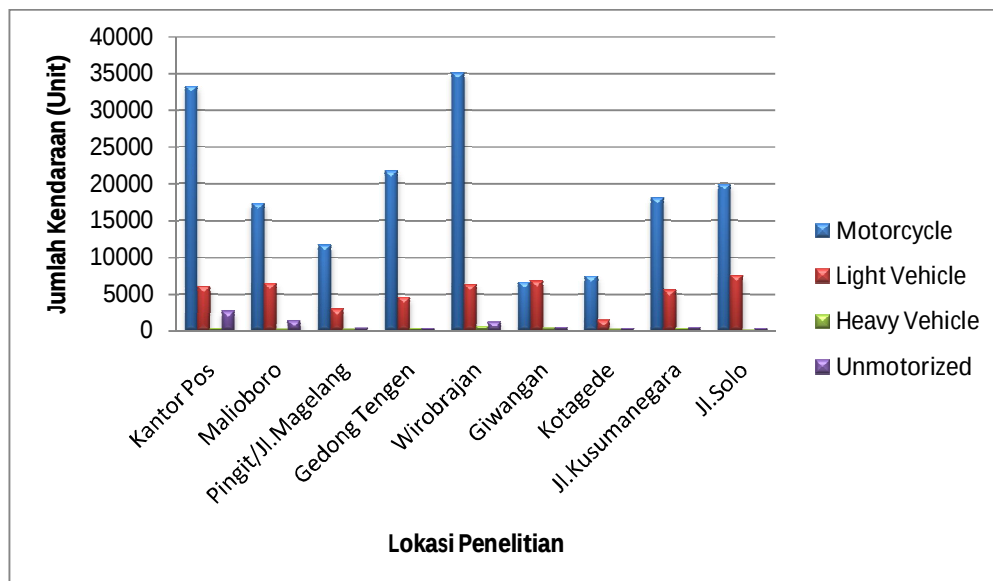
Gambar 4.5 Volume Kendaraan Siang Hari (11.30 - 13.00)



Gambar 4.6 Volume Kendaraan Sore Hari (15.30 - 17.00)



Gambar 4.7 Volume Kendaraan Malam Hari (23.30 - 01.00)



Gambar 4.8 Volume Total Kendaraan Selama 24 Jam

Dari diagram diatas tersebut dapat diketahui bahwa kepadatan lalu lintas di kawasan Kota Yogyakarta sangat didominasi oleh *motorcycle* (sepeda motor). Hal ini dikarenakan Yogyakarta bukan kota besar seperti Jakarta, Surabaya, dll. Yogyakarta juga merupakan kota pelajar yang dimana terdapat banyak perantau yang datang untuk belajar dan masing- masing pelajar tersebut sebagian besar menggunakan sepeda motor sebagai sarana transportasi yang digunakan untuk beraktivitas di Yogyakarta.

Kepadatan lalu lintas tertinggi terjadi pada siang hari, dimana pada waktu tersebut sebagian besar masyarakat melakukan segala aktivitasnya. Sedangkan kepadatan total tertinggi untuk kendaraan bermotor terjadi di Lokasi 5 atau Simpang Empat Wirobrajan. Hal ini terjadi karena letak simpang tersebut merupakan jalan utama untuk keluar masuknya menuju Kota Yogyakarta dari daerah Wates, Bantul dan Sleman.

Sedangkan untuk mengetahui tingkat pelayanan jalan yaitu dengan menghitung nilai derajat kejenuhan (D) dan menganggap yang digunakan adalah jalan perkotaan dan menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997.

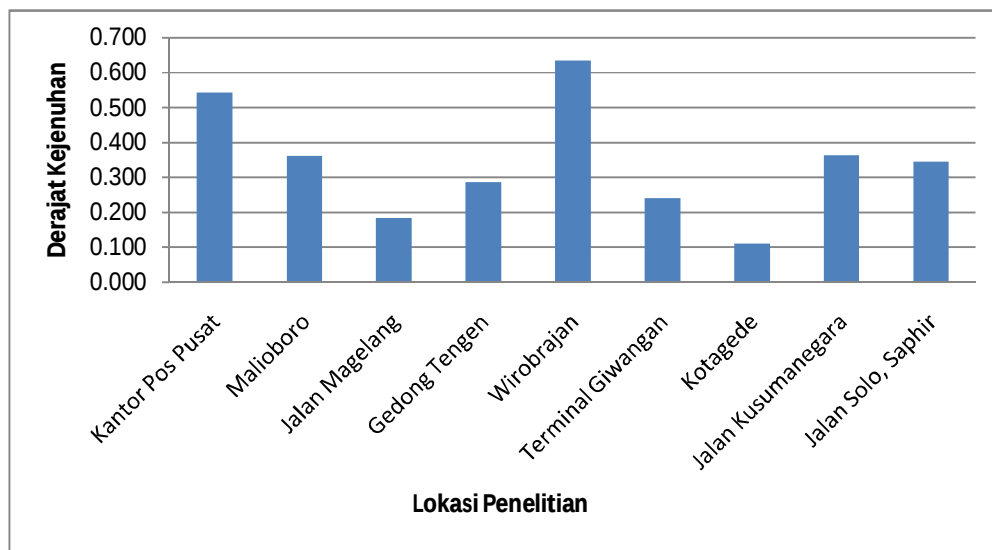
Sebelum melakukan perhitungan derajat kejenuhan (D) terlebih dahulu mengetahui analisa kapasitas ruas jalan di lokasi penelitian yang berfungsi untuk mendapatkan nilai-nilai yang akan digunakan dalam melakukan perhitungan. Nilai-nilai yang digunakan dalam perhitungan derajat kejenuhan tersebut antara lain: kapasitas dasar (C_0), faktor koreksi/ penyesuaian lebar jalur (FC_w), faktor koreksi/ penyesuaian hambatan samping (FC_{sf}), faktor koreksi/ penyesuaian pemisah arah (FC_{sp}), faktor koreksi/ penyesuaian ukuran kota (FC_{cs}). Nilai-nilai tersebut harus sesuai dengan kondisi fisik yang sebenarnya yang ada pada waktu pengambilan data di lokasi penelitian.

Hasil dari penghitungan derajat kejenuhan (D) pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel dan gambar yang terdapat dibawah ini. Untuk perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 5.

Tabel 4.5 Derajat Kejenuhan Di Lokasi Penelitian

No	Lokasi	Derajat Kejenuhan (D)
1	Kantor Pos Pusat	0,544
2	Hotel INA Garuda Malioboro	0,360
3	Jalan Magelang	0,184
4	Simpang Empat Gedong Tengen	0,286
5	Simpang Empat Wirobrajan	0,635
6	Simpang Empat Terminal Giwangan	0,241
7	Simpang Tiga Kotagede	0,110
8	Jalan Kusumanegara	0,363
9	Jalan Solo, Saphir Square	0,345

(Sumber: Data Primer 2010)



Gambar 4.9 Derajat Kejenuhan di Lokasi Penelitian

Pada Gambar 4.9, dapat diketahui bahwa dalam diagram tersebut menunjukkan lokasi Simpang Empat Wirobrajan mempunyai derajat kejenuhan yang paling tinggi dengan nilai derajat kejenuhannya sebesar 0,635. Hal ini dikarenakan pada lokasi tersebut merupakan gerbang pintu masuk-keluarnya kendaraan menuju Kota Yogyakarta, sehingga arus lalu lintas di lokasi tersebut cukup padat.

Sedangkan untuk lokasi yang menunjukkan derajat kejenuhan paling kecil terdapat pada lokasi Kotagede. Lokasi Kotagede memiliki nilai derajat kejenuhan sebesar 0,110. Pada lokasi bukan merupakan jalan utama menuju pusat Kota Yogyakarta sehingga pada lokasi ini kepadatan lalu lintasnya tidak sebesar di lokasi yang lainnya.

Untuk mengetahui parameter tingkat pelayanan jalan pada lokasi penelitian dapat dilakukan dengan memasukkan nilai derajat kejenuhan yang didapatkan pada Tabel 4.6 yang menunjukkan angka batas lingkup atau derajat kejenuhan. Batas lingkup tersebut berfungsi untuk mengetahui tingkat pelayanan jalan dengan karakteristik-karakteristik yang telah terdapat pada tabel tersebut.

Tabel 4.6 Parameter Tingkat Pelayanan Jalan

Tingkat Pelayanan	Karakteristik - Karakteristik	Batas Lingkup V/C
A	Kondisi arus bebas dengan kecepatan tinggi dan volume lalu lintas rendah. Pengemudi dapat memilih kecepatan yang diinginkan tanpa hambatan.	0,00 – 0,19
B	Dalam zone arus stabil. Pengemudi memiliki kebebasan yang cukup untuk memilih kecepatannya.	0,20 – 0,44
C	Dalam zone arus stabil. Pengemudi dibatasi dalam memilih kecepatannya.	0,45 – 0,74
D	Mendekati arus tidak stabil dimana hampir seluruh pengemudi akan dibatasi. Volume pelayanan berkaitan dengan kapasitas yang dapat ditolerir (diterima).	0,75 – 0,85
E	Volume lalu lintas mendekati atau berada pada kapasitasnya. Arus adalah tidak stabil dengan kondisi yang sering berhenti.	0,85 – 1,0
F	Arus yang dipaksakan atau macet pada kecepatan-kecepatan yang rendah. Antrian yang panjang dan terjadi hambatan-hambatan yang besar.	Lebih besar dari 1,0

(Sumber: Highway Capacity Manual)

Berdasarkan Tabel 4.6 Parameter Tingkat Pelayanan Jalan, maka dapat diketahui karakteristik masing-masing jalan berdasarkan derajat kejenuhan yang terdapat pada lokasi tersebut. Karakteristik masing-masing jalan pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Tingkat Pelayanan Jalan pada Lokasi Penelitian

No	Lokasi	Derajat Kejenuhan (D)	Tingkat Pelayanan
1	Kantor Pos Pusat	0,544	C
2	Hotel INA Garuda Malioboro	0,360	B
3	Jalan Magelang	0,184	A
4	Simpang Empat Gedong Tengen	0,286	B
5	Simpang Empat Wirobrajan	0,635	C
6	Simpang Empat Terminal Giwangan	0,241	B
7	Simpang Tiga Kotagede	0,110	A
8	Jalan Kusumanegara	0,363	B
9	Jalan Solo, Saphir Square	0,345	B

(Sumber: Data Primer 2010)

4.4 Hasil Pengukuran Partikulat di Lapangan

4.4.1 Hasil Pengukuran Pencemar *Particulate Matter* 2,5 ($PM_{2,5}$)

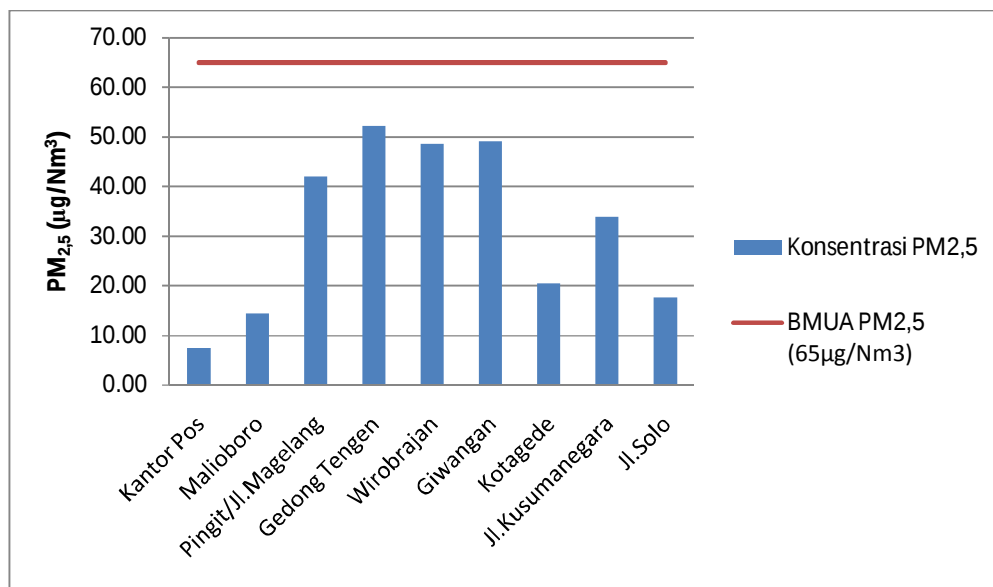
Parameter $PM_{2,5}$ yang juga sering disebut partikulat halus ini merupakan parameter yang sangat berdampak pada kesehatan. Partikulat udara halus yang berukuran mikron atau submikron ini sangat berbahaya karena dapat berpenetrasi menembus bagian terdalam dari paru-paru, sehingga dapat menyebabkan gangguan kesehatan diantaranya infeksi saluran pernafasan akut, kanker paru-paru dan bahkan kematian. Partikulat halus ini pula yang diperkirakan memberi kontribusi besar pada angka kematian yang diakibatkan oleh gangguan kesehatan terkait pencemaran udara (Muhayatun, 2008).

Hasil dari pengukuran *Particulate Matter* 2,5 ($PM_{2,5}$) di sembilan titik kawasan Kota Yogyakarta ini berbeda-beda, hal ini disebabkan karena banyak faktor yang mempengaruhinya. Hasil dari pengukuran *Particulate Matter* 2,5 ($PM_{2,5}$) dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.8 Hasil Pengukuran PM_{2,5}

No	Lokasi Penelitian	Hasil Pengukuran PM _{2,5} (µg/Nm ³)
1	Simpang Empat Kantor Pos Pusat Yogyakarta	7.445
2	Simpang Tiga Malioboro Hotel INA GARUDA	14.385
3	Pingit, Jalan Magelang	41.952
4	Simpang Empat Gedong Tengen	52.122
5	Simpang Empat Wirobrajan	48.617
6	Simpang Empat Terminal Giwangan	49.192
7	Simpang Tiga Kotagede (Tom Silver)	20.527
8	Jalan Kusumanegara Simpang Empat SGM	33.820
9	Jalan Solo Batas Kota Sleman	17.546

(Sumber: Data Primer 2010)

**Gambar 4.10 Konsentrasi Pencemar PM_{2,5}**

Dari data dan diagram diatas konsentrasi PM_{2,5} di masing-masing lokasi terdapat adanya perbedaan. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor diantaranya faktor meteorologis dan kepadatan lalu lintas. Apabila dibandingkan dengan Baku Mutu yang ditetapkan pemerintah dalam PP no 41 tahun 1999 yaitu 65 µg/ Nm³, maka untuk konsentrasi di semua lokasi penelitian tidak melebihi dari ambang batas atau baku mutu yang dikeluarkan oleh pemerintah. Konsentrasi tertinggi terdapat pada lokasi simpang empat Gedong Tengen dengan nilai konsentrasi

sebesar 52,122 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Sedangkan untuk konsentrasi terendah terdapat di lokasi satu yaitu Kantor Pos Pusat, hal ini dikarenakan sampling pada lokasi tersebut mengalami kendala dalam pengaturan alat *E-Sampler*. Sehingga data yang didapat dan terbaca secara *computerize* hanya sedikit. Banyak faktor yang mempengaruhi keberadaan konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ di lokasi penelitian. Tingginya nilai konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ di lokasi Gedong Tengen dipengaruhi oleh faktor arah angin yang pada lokasi tersebut arah angin tepat menuju ke arah pengambilan sampel. Sehingga $\text{PM}_{2,5}$ langsung ditangkap oleh *E-Sampler*. Faktor kurangnya vegetasi hijau dan banyaknya bangunan disekitar lokasi juga mempengaruhi tingginya konsentrasi di lokasi Gedong Tengen. Walaupun lokasi Wirobrajan merupakan daerah dengan tingkat kepadatan paling tinggi namun tidak menjamin bahwa konsentrasi tertinggi berada di lokasi tersebut. Hal ini dikarenakan masih terdapatnya faktor yang lebih berpengaruh terhadap konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ selain kepadatan lalu lintas.

4.4.2 Hasil Tingkat Pencemaran Particulate Matter 10 (PM_{10})

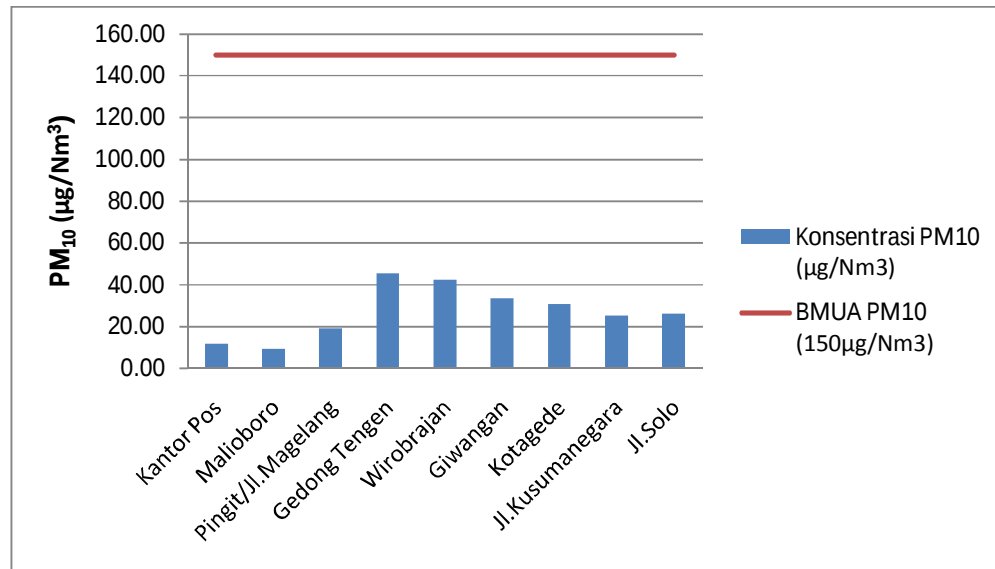
PM_{10} merupakan salah satu pencemaran berbentuk partikulat. PM_{10} adalah material yang terdispersi di udara, baik berbentuk padat maupun cair yang berukuran lebih kecil dari 10 μm . Menurut Pudjiastuti (2002), Depkes atau Departemen Kesehatan mengisaratkan bahwa ukuran ukuran debu yang membahayakan berkisar 0,1 sampai 10 mikron. Ukuran debu atau partikel kurang dari 10 mikron itu tersebut disebut pula dengan nama PM_{10} .

Hasil dari pengukuran *Particulate Matter 10* (PM_{10}) di sembilan titik kawasan Kota Yogyakarta ini berbeda-beda, hal ini disebabkan karena banyak faktor yang mempengaruhinya. Hasil dari pengukuran *Particulate Matter 10* (PM_{10}) dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Table 4.9 Hasil Pengukuran PM₁₀

No	Lokasi Penelitian	Hasil Pengukuran PM ₁₀ (µg/Nm ³)
1	Simpang Empat Kantor Pos Pusat Yogyakarta	11.703
2	Simpang Tiga Malioboro Hotel INA GARUDA	9.290
3	Pingit, Jalan Magelang	18.911
4	Simpang Empat Gedong Tengen	45.355
5	Simpang Empat Wirobrajan	42.179
6	Simpang Empat Terminal Giwangan	33.270
7	Simpang Tiga Kotagede (Tom Silver)	30.829
8	Jalan Kusumanegara Simpang Empat SGM	25.204
9	Jalan Solo Batas Kota Sleman	26.095

(Sumber: Data Primer 2010)

**Gambar 4.11 Konsentrasi Pencemar PM₁₀**

Keberadaan konsentrasi PM₁₀ di kawasan Kota Yogyakarta masih tergolong relatif aman, hal ini dikarenakan keberadaan konsentrasi PM₁₀ di kawasan Kota Yogyakarta masih berada di bawah Baku Mutu Udara Ambien yang ditetapkan oleh pemerintah. Baku mutu udara ambient yang ditetapkan oleh pemerintah dalam PP no 41 tahun 1999 untuk parameter PM₁₀ adalah sebesar 150 µg/ Nm³. Nilai BMUA untuk parameter PM₁₀ tersebut masih jauh dari hasil penelitian yang dilakukan di kawasan Kota Yogyakarta pada tahun 2010. Nilai konsentrasi pencemar PM₁₀ tertinggi dari hasil pengamatan sebesar 45,355

$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan terdapat di lokasi empat yaitu daerah Simpang Empat Gedong Tengen. Dari gambar dan tabel terlihat untuk penelitian PM_{10} dengan konsentrasi terendah terjadi di daerah Hotel Ina Garuda Malioboro dengan nilai $9,290 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan lokasi Malioboro ini menjadi lokasi dengan konsentrasi PM_{10} paling rendah. Kondisi hujan yang terjadi pada siang dan malam menyebabkan sebagian PM_{10} di udara ambien pada lokasi ini tersisih oleh hujan. Faktor penempatan alat, arah angin serta kondisi fisik lokasi penelitian juga mempunyai peranan terhadap besarnya konsentrasi PM_{10} setiap di lokasi penelitian.

4.4.3 Hasil Tingkat Pencemaran *Total Suspended Particulate* (TSP)

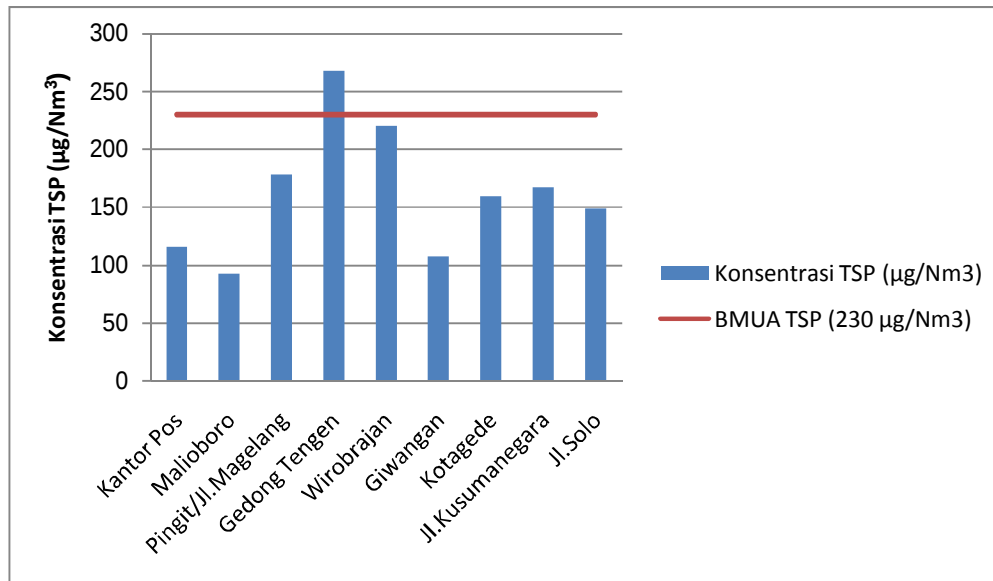
Total Suspended Particulate (TSP) merupakan campuran dari partikel mulai dari $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , debu dan partikel-partikel lainnya. Debu merupakan salah satu bahan yang sering disebut sebagai partikel yang melayang di udara (*Suspended Particulate Matter/ SPM*) dengan ukuran 1 mikron sampai dengan 500 mikron.

Dalam penelitian ini sampling *Total Suspended Particulate* (TSP) dilakukan selama 24 jam pengukuran. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Total Suspended Particulate (TSP)

No	Lokasi Penelitian	Hasil Pengukuran TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
1	Simpang Empat Kantor Pos Pusat Yogyakarta	116.147
2	Simpang Tiga Malioboro Hotel INA GARUDA	92.730
3	Pingit, Jalan Magelang	178.173
4	Simpang Empat Gedong Tengen	267.963
5	Simpang Empat Wirobrajan	220.600
6	Simpang Empat Terminal Giwangan	107.641
7	Simpang Tiga Kotagede (Tom Silver)	159.574
8	Jalan Kusumanegara Simpang Empat SGM	167.566
9	Jalan Solo Batas Kota Sleman	148.866

(Sumber: Data Primer 2010)



Gambar 4.12 Konsentrasi Pencemar TSP

Dari data tersebut menunjukkan bahwa lokasi empat atau Simpang Empat Gedong Tengen adalah lokasi yang tingkat konsentrasi TSP paling tinggi yaitu $267,96 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Dalam PP no 41 tahun 1999 baku mutu udara ambient ditetapkan bahwa untuk konsentrasi TSP maksimal $230 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Untuk pengukuran TSP ini terdapat satu lokasi yang dimana pada lokasi tersebut konsentrasi TSP-nya telah melebihi dari baku mutu udara ambien yaitu di simpang empat Gedong Tengen. Seperti halnya pada sampling $\text{PM}_{2,5}$ dan PM_{10} , lokasi Gedong Tengen masih berada dalam posisi tertinggi untuk keberadaan konsentrasi TSP. Penempatan alat yang tepat dengan pergerakan arah angin yang menuju alat serta tidak terdapatnya hujan di lokasi membuat lokasi ini menjadi lokasi dengan konsentrasi TSP tertinggi, bahkan melebihi dari baku mutu. Kondisi hujan juga mempunyai andil terhadap keberadaan konsentrasi TSP di lokasi penelitian. Hal ini dapat dilihat pada lokasi Ina Garuda Malioboro dan lokasi Giwangan yang konsentrasi TSP pada kedua lokasi tersebut cenderung lebih rendah dibandingkan dengan lokasi yang lainnya. Lokasi Wirobrajan menempati lokasi tertinggi kedua setelah lokasi Gedong Tengen. Banyaknya kendaraan jenis *heavy vehicle* yang melewati lokasi Wirobrajan menjadikan konsentrasi di lokasi tersebut relatif tinggi walaupun tidak merupakan lokasi dengan konsentrasi TSP tertinggi saat penelitian.

4.5 Analisa Distribusi Pencemar

Banyak faktor yang mempengaruhi distribusi pencemar di udara. Kendaraan bermotor merupakan faktor yang paling utama dalam pembentukan pencemar di udara, namun tinggi rendahnya konsentrasi pencemar di udara tidak selalu dipengaruhi oleh jumlah dari kepadatan lalu lintas sehingga faktor dari luar seperti arah dan kecepatan angin ikut mempengaruhi tinggi rendahnya konsentrasi pencemar di udara. Semua bahan pencemar yang dihasilkan dari sumber akan terdispersi oleh faktor meteorologi pada daerah dilakukan penelitian. Semua lokasi akan menerima dampak yang berbeda-beda sesuai dengan arah dan kecepatan angin serta bangunan yang tinggi. Angin tidak hanya berfungsi sebagai transport tetapi juga dapat merubah konsentrasi polutan di udara (Cooper, 2004).

Distribusi atau persebaran pencemar yang berada disekitar lokasi penelitian dapat dilihat dengan mengetahui arah dan kecepatan angin. Arah dan kecepatan angin digunakan untuk memberikan informasi terhadap distribusi pencemar di udara karena arah dan kecepatan angin ini merupakan salah satu faktor terjadinya pencemaran udara.

Pada penelitian ini menggunakan data meteorologi dari BMKG Stasiun Geofisika Yogyakarta sebagai referensi untuk mengetahui distribusi pencemar udara berdasarkan arah dan kecepatan angin. Data arah dan kecepatan angin dari BMKG Stasiun Geofisika Yogyakarta dapat dilihat pada tabel 4.11 dan tabel 4.12

Tabel 4.11 menunjukkan arah dan kecepatan angin pada bulan Mei. Kecepatan angin pada saat melakukan penelitian sebesar 0,6 knots. Sedangkan pada tabel 4.12 menunjukkan arah dan kecepatan angin pada bulan Juni. Untuk bulan Juni, kecepatan angin pada saat melakukan penelitian sebesar 0,8 knots dengan rata-rata arah angin ke arah 217° atau Barat Daya.

Tabel 4.11 Arah dan Kecepatan Angin Harian Bulan Mei 2010

Tanggal	Arah		Kecepatan rata-rata (Knots)	Tanggal	Arah		Kecepatan rata-rata (Knots)
	Rata-rata (Derajat)	Dominan			Rata-rata (Derajat)	Dominan	
1	131	E	0,6	17	177	SE	0,5
2	183	S	0,6	18	127	NE	0,7
3	200	N	0,6	19	207	SW	0,8
4	127	E	0,6	20	230	NW	0,7
5	220	NW	0,6	21	242	NW	0,7
6	188	E	0,6	22	250	S	0,7
7	137	NE	0,5	23	218	S	1
8	236	W	0,7	24	260	NW	0,5
9	184	E	0,5	25	197	W	0,6
10	242	NW	0,5	26	277	NW	0,6
11	120	NE	0,6	27	184	NE	0,6
12	163	NE	0,4	28	212	N	0,7
13	238	N	0,5	29	256	N	0,6
14	190	NE	0,7	30	240	N	0,6
15	210	SW	0,8	31	191	SE	0,6
16	52	NE	0,8				

(Sumber: BMKG Stasiun Geofisika Yogyakarta, 2010)

Tabel 4.12 Arah dan Kecepatan Angin Harian Bulan Juni 2010

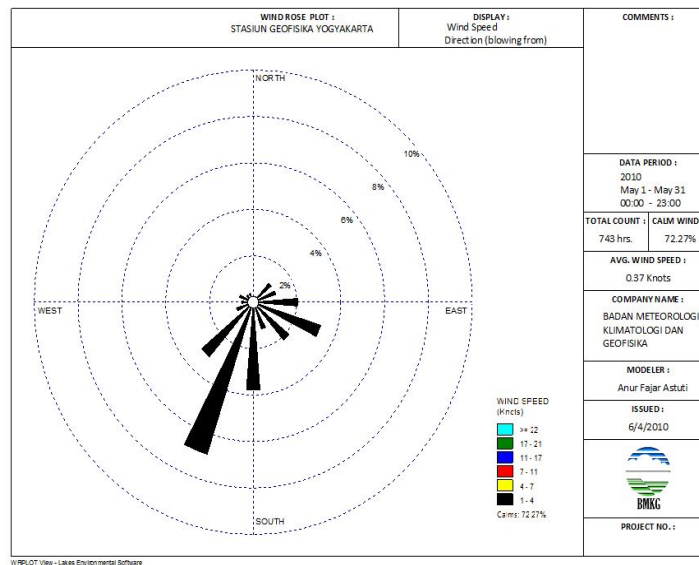
Tanggal	Arah		Kecepatan rata-rata (Knots)	Tanggal	Arah		Kecepatan rata-rata (Knots)
	Rata-rata (Derajat)	Dominan			Rata-rata (Derajat)	Dominan	
1	246	N	0,7	16	249	SW	0,8
2	165	S	0,7	17	253	S	0,6
3	211	W	0,8	18	201	E	0,6
4	193	SE	0,6	19	183	E	0,6
5	264	N	0,5	20	155	SE	0,7
6	260	NW	0,6	21	184	SE	0,5
7	179	N	0,4	22	170	E	0,5
8	248	N	0,5	23	183	SE	0,7
9	206	NE	0,5	24	139	E	0,6
10	215	N	0,4	25	204	W	0,5
11	127	NE	0,6	26	217	W	0,8
12	152	NE	0,6	27	220	SW	0,5
13	219	NW	0,6	28	211	W	0,5
14	122	NE	0,5	29	234	SW	0,7
15	214	SW	0,6	30	209	N	0,6

(Sumber: BMKG Stasiun Geofisika Yogyakarta, 2010)

Keterangan : Blok silver merupakan tanggal penelitian

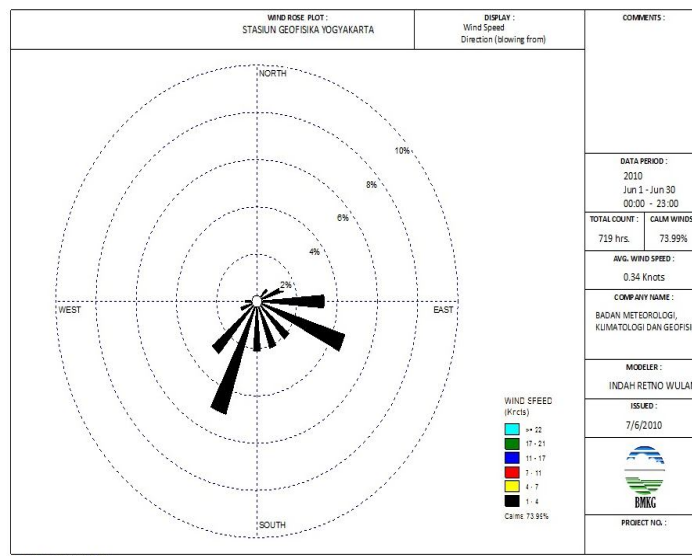
Dari data yang terdapat pada tabel diatas dapat dibaca dalam bentuk diagram, yaitu diagram windrose. Diagram windrose pada bulan Mei dan Juni

dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Pada diagram windrose ini akan terlihat jelas sesuai dengan arah dan kecepatan angin selama satu bulan penuh.



(Sumber: BMKG Stasiun Geofisika Yogyakarta, 2010)

Gambar 4.13 Diagram Windrose Arah dan Kecepatan Angin Bulan Mei



(Sumber: BMKG Stasiun Geofisika Yogyakarta, 2010)

Gambar 4.14 Diagram Windrose Arah dan Kecepatan Angin Bulan Juni

Dari gambar 4.13 dan gambar 4.14 tersebut terlihat bahwa arah angin paling dominan menuju ke arah *South West* atau Barat Daya. Dari diagram

tersebut dapat diketahui bahwa distribusi polutan partikulat lebih cenderung menuju ke arah Barat Daya. Sehingga dapat diperkirakan bagian Barat Daya Kota Yogyakarta menjadi lokasi yang menerima polutan selama bulan Mei dan Juni. Pada lokasi Gedong Tengen saat pengambilan sampel partikulat posisi *High Volume Air Sampler* (HVAS) dan *E-Sampler* menghadap ke arah selatan dan arah angin dominan menuju ke utara. Dapat dipastikan bahwa arah angin tersebut menuju ke alat HVAS dan *E-Sampler* sehingga secara otomatis partikulat dapat ditangkap dengan mudah oleh alat ini. Hal ini yang menyebabkan konsentrasi PM_{2,5}, PM₁₀ dan TSP di lokasi Gedong Tengen merupakan yang tertinggi dibandingkan dengan lokasi yang lainnya. Faktor arah dan kecepatan angin mempunyai pengaruh terhadap persebaran konsentrasi PM_{2,5}, PM₁₀ dan TSP di udara ambien disamping faktor-faktor yang lainnya.

4.6 Kualitas Udara Kota Yogyakarta

Pemantauan kualitas udara di kawasan Kota Yogyakarta sudah dilakukan sejak tahun 2002. Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya peningkatan pencemar udara di kawasan Kota Yogyakarta. Kondisi jalan yang sempit dengan minimnya tumbuhan serta meningkatnya jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya menyebabkan meningkatnya polusi udara di kawasan Kota Yogyakarta. Faktor banyaknya kendaraan bermotor mempunyai kontribusi yang besar dalam meningkatnya pencemaran udara di kawasan Kota Yogyakarta.

Pengukuran kualitas udara di kawasan Kota Yogyakarta pernah dilakukan pada tahun 2008. Dari hasil pengukuran pada tahun 2008 tersebut dapat diketahui perbandingan dengan kualitas udara kawasan Kota Yogyakarta pada tahun 2010. Pengukuran kualitas udara di kawasan Kota Yogyakarta pada tahun 2008 dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Kualitas Udara Ambien Kota Yogyakarta Tahun 2008

Parameter	BMUA	Satuan	Lokasi									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SO ₂	900	µg/Nm ³	123.16	117.86	113.33	113.69	117	116.64	116.63	163.01	57.74	42.31
CO	35	Ppm	12	28	11	28	27	8	10	10	7	3
NO ₂	400	µg/Nm ³	323.04	331.89	387.47	203.97	304	369.24	346.8	346.8	203.34	208.98
HC	160	µg/Nm ³	116.3	129.34	162.48	82.17	12.42	107.99	118.3	118.3	107.3	197.82
PM ₁₀	150	µg/Nm ³	41.05	17.2	18.51	21.59	7.63	30.12	12.8	12.8	9.78	38.45
TSP	230	µg/Nm ³	194.81	106.11	132.3	189.79	64.59	141.19	121.67	121.67	96.4	193.31
Pb	2	µg/Nm ³	0.049	13	0.321	0.246	0.216	0.216	0.13	0.13	0.18	0.06

(Sumber : Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta, 2008)

Keterangan:

- | | |
|------------------|------------------|
| 1. Wirobrajan | 6. Gedong Tengen |
| 2. Pingit | 7. Gedong Kuning |
| 3. Karangwaru | 8. Kotagede |
| 4. Kantor Pos | 9. Jl. Solo |
| 5. Abu Bakar Ali | 10. Giwangan |

Sedangkan untuk pengukuran kualitas udara di kawasan Kota Yogyakarta pada tahun 2010 telah banyak mengalami penurunan kualitas udara. Faktor semakin bertambahnya jumlah penduduk Kota Yogyakarta setiap tahunnya dan pola hidup yang konsumtif terhadap kendaraan bermotor menyebabkan menurunnya kualitas udara di kawasan Kota Yogyakarta. Kondisi cuaca yang cepat sekali berubah-ubah dan semakin sedikitnya jalur hijau di Kota Yogyakarta menyebabkan penurunan kualitas udara.

Sumber dari PUSTRAL (Pusat Studi Transportasi dan Logistik) menyatakan di kota Yogyakarta rata-rata setiap bulannya terjual 6.000 unit sepeda motor. Sepeda motor merupakan kendaraan yang paling dominan di Kota Yogyakarta yaitu 79,72% dari 211.322 kendaraan pada tahun 2001. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor roda dua di kota Yogyakarta telah menggantikan alat transportasi lain seperti bus. Setiap tahunnya jumlah kendaraan roda dua mengalami peningkatan sekitar 11,8%, sementara kendaraan roda empat hanya 6,9% .

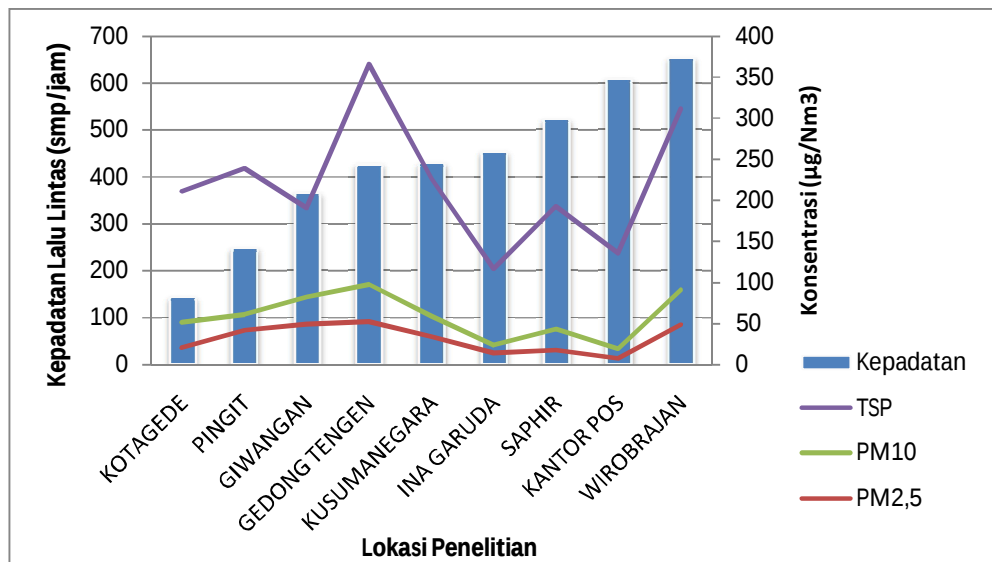
Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor rata-rata 13% per tahun dan kendaraan pribadi 28% per tahun yang didominasi oleh sepeda motor. Angkutan umum sebesar 20% dan kendaraan barang sebesar 15% (Profil Kesehatan DIY, 2008).

Bila dibandingkan hasil pengukuran kualitas udara ambient untuk parameter TSP dan PM₁₀ pada tahun 2008 di kawasan Kota Yogyakarta yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta dengan pengukuran kualitas udara ambient di kawasan Kota Yogyakarta pada tahun 2010 telah terjadi penurunan kualitas udara ambient. Di beberapa lokasi penelitian pada tahun 2010 untuk konsentrasi parameter PM₁₀ dan TSP telah mengalami peningkatan bila dibandingkan dengan penelitian pada tahun 2008. Namun ini tidak dapat secara mutlak dijadikan sebagai pembanding karena kondisi fisik lokasi penelitian dan pada waktu sampling sangat berpengaruh terhadap naik dan turunnya konsentrasi partikulat seperti PM_{2,5}, PM₁₀ dan TSP. Faktor kepadatan lalu lintas pada lokasi sampling, keadaan cuaca, suhu, kelembaban udara serta arah dan kecepatan angin juga mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap konsentrasi PM_{2,5}, PM₁₀ dan TSP. Untuk hasil pemantauan di lokasi penelitian pada tahun 2010 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.14 Pemantauan Kepadatan Lalu Lintas dan Konsentrasi Partikulat di Kawasan Kota Yogyakarta Tahun 2010

No	Lokasi Pengujian	Kepadatan (smp/jam)	PM _{2,5} (µg/Nm ³)	PM ₁₀ (µg/Nm ³)	TSP (µg/Nm ³)
1	Simpang Empat Kantor Pos Pusat Yogyakarta	607.296	7.445	11.703	116.147
2	Simpang Tiga Malioboro Hotel INA GARUDA	452.531	14.385	9.290	92.730
3	Pingit, Jalan Magelang	246.748	41.952	18.911	178.173
4	Simpang Empat Gedong Tengen	426.415	52.122	45.355	267.963
5	Simpang Empat Wirobrajan	652.787	48.617	42.179	220.600
6	Simpang Empat Terminal Giwangan	364.662	49.192	33.270	107.641
7	Simpang Tiga Kotagede (Tom Silver)	141.781	20.527	30.829	159.574
8	Jalan Kusumanegara Simpang Empat SGM	427.960	33.820	25.204	167.566
9	Jalan Solo Batas Kota Sleman	521.677	17.546	26.095	148.866

(Sumber: Data Primer 2010)



Gambar 4.15 Pemantauan Kepadatan Lalu Lintas dan Konsentrasi Partikulat di Kawasan Kota Yogyakarta Tahun 2010

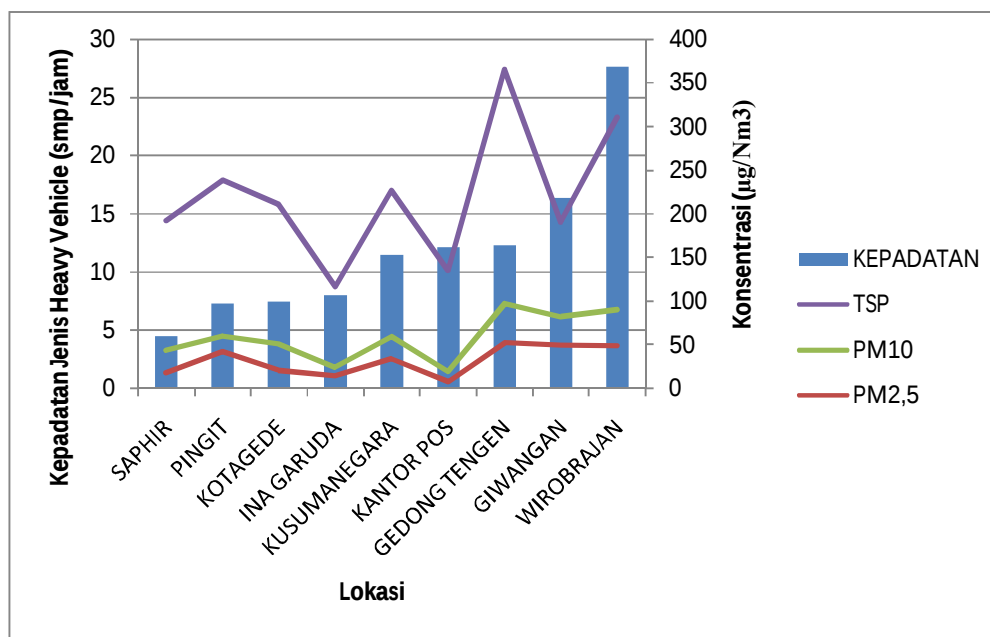
Dari tabel dan gambar diatas dapat diketahui bahwa antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP hampir tidak terdapat adanya hubungan. Hal ini bisa dilihat dengan semakin tinggi nilai kepadatan lalu lintas namun konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP justru tidak semakin tinggi. Lokasi Gedong Tengen merupakan lokasi dengan konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP tertinggi namun nilai kepadatan lalu lintas di lokasi tersebut justru tidak terlalu besar. Kepadatan lalu lintas tertinggi terjadi di lokasi Wirobrajan, namun konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di lokasi tersebut justru tidak sebanding dengan tingginya kepadatan lalu lintas. Artinya terdapat faktor yang lebih berpengaruh terhadap keberadaan konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di sekitar lokasi penelitian.

Sedangkan pemantauan kepadatan lalu lintas untuk jenis kendaraan *heavy vehicle* (bus besar, truk-2AS dan truk-3AS) dan konsentrasi partikulat dapat dilihat pada tabel 4.15 dan gambar 4.16.

Tabel 4.15 Pemantauan Kepadatan Lalu Lintas untuk Kendaraan Jenis *Heavy Vehicle* dan Konsentrasi Partikulat di Kawasan Kota Yogyakarta Tahun 2010

No	Lokasi Pengujian	Kepadatan (smp/jam)	PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
1	Simpang Empat Kantor Pos Pusat Yogyakarta	12.15	7.445	11.703	116.147
2	Simpang Tiga Malioboro Hotel INA GARUDA	8	14.385	9.290	92.730
3	Pingit, Jalan Magelang	7.3	41.952	18.911	178.173
4	Simpang Empat Gedong Tengen	12.3	52.122	45.355	267.963
5	Simpang Empat Wirobrajan	27.6	48.617	42.179	220.600
6	Simpang Empat Terminal Giwangan	16.35	49.192	33.270	107.641
7	Simpang Tiga Kotagede (Tom Silver)	7.5	20.527	30.829	159.574
8	Jalan Kusumanegara Simpang Empat SGM	11.45	33.820	25.204	167.566
9	Jalan Solo Batas Kota Sleman	4.5	17.546	26.095	148.866

(Sumber: Data Primer 2010)



Gambar 4.16 Pemantauan Kepadatan Lalu Lintas untuk Kendaraan Jenis *Heavy Vehicle* dan Konsentrasi Partikulat di Kawasan Kota Yogyakarta Tahun 2010

Dari tabel dan diagram diatas menunjukkan bahwa kepadatan jenis *heavy vehicle* tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di udara ambien. Semakin tinggi nilai kepadatan lalu lintas khususnya kendaraan jenis *heavy vehicle* tidak menunjukkan semakin tingginya nilai konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP. Hal ini menunjukkan bahwa ternyata kendaraan jenis *heavy vehicle* tidak merupakan faktor utama terbentuknya konsentrasi partikulat, masih terdapat faktor yang lebih berpengaruh lagi terhadap konsentrasi partikulat.

4.7 Hasil Analisis Korelasi Berganda

Menurut Sugiyono (2005), jika koefisien korelasi positif, maka kedua variabel mempunyai hubungan searah. Artinya jika nilai variabel X tinggi, maka nilai dari variabel Y juga akan tinggi pula. Sedangkan jika koefisien korelasi negatif, maka kedua variabel tersebut mempunyai hubungan yang terbalik. Artinya jika nilai dari variabel X tinggi, maka nilai dari variabel Y akan menjadi rendah ataupun sebaliknya. Dalam melakukan interpretasi kekuatan suatu hubungan antara variabel dapat dikelompokkan berdasarkan kriteria sebagai berikut:

- 0 : Tidak ada korelasi antar variabel
- $> 0 - 0,25$: Korelasi sangat lemah
- $> 0,25 - 0,5$: Korelasi cukup
- $> 0,5 - 0,75$: Korelasi kuat
- $> 0,75 - 0,99$: Korelasi sangat kuat
- 1 : Korelasi sempurna

Untuk mengetahui tingkat signifikanasi hubungan kedua variabel tersebut menggunakan angka signifikansi sebesar 0,05 dengan tingkat kepercayaan sebesar 95%. Kriteria yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

- Jika angka signifikan hasil penelitian $< 0,05$, maka H_0 ditolak sehingga hubungan kedua variabel signifikan.
- Jika angka signifikan hasil penelitian $> 0,05$, maka H_0 diterima sehingga hubungan kedua variabel tidak signifikan.

4.7.1 Hubungan Antara Kepadatan Lalu Lintas dengan Konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP

Kepadatan lalu lintas diperkirakan memiliki hubungan dengan konsentrasi *Particulate Matter 2,5* ($PM_{2,5}$), *Particulate Matter 10* (PM_{10}) dan *Total Suspended Particulate* (TSP) di udara ambient. Hasil didapatkan dalam penelitian ini menunjukkan kepadatan lalu lintas tertinggi berada di lokasi lima atau Simpang Empat Wirobrajan sebesar 652,79 smp/jam dan kepadatan lalu lintas terendah berada di lokasi tujuh atau Simpang Tiga Kotagede. Untuk parameter $PM_{2,5}$ konsentrasi tertinggi berada di lokasi empat atau daerah Gedong Tengen yaitu sebesar $52,122 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan konsentrasi terendah di lokasi satu atau Kantor Pos Pusat sebesar $7,445 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Pada parameter PM_{10} daerah yang mempunyai tingkat konsentrasi tertinggi terjadi pada lokasi empat atau Gedong Tengen yaitu sebesar $45,355 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan konsentrasi terendah terdapat pada lokasi dua atau Malioboro-Hotel INA Garuda yaitu sebesar $9,290 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Sedangkan untuk konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) nilai konsentrasi terbesar pada lokasi Simpang Empat Gedong Tengen dengan konsentrasi sebesar $267,963 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, untuk konsentrasi TSP paling rendah terdapat pada lokasi dua atau Malioboro-Hotel INA Garuda dengan nilai konsentrasi sebesar $92,730 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Hasil analisis korelasi antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi *Particulate Matter 2,5* ($PM_{2,5}$), *Particulate Matter 10* (PM_{10}) dan *Total Suspended Particulate* (TSP) di udara ambient dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hubungan Analisis Korelasi Berganda Antara Kepadatan Lalu Lintas dengan Konsentrasi *Particulate Matter* 2,5 (PM_{2,5}), *Particulate Matter* 10 (PM₁₀) dan *Total Suspended Particulate* (TSP)

		PM2.5	PM10	TSP	Kepadatan
PM2.5	Pearson Correlation	1	.766*	.642	-.095
	Sig. (2-tailed)		.016	.062	.808
	N	9	9	9	9
PM10	Pearson Correlation	.766*	1	.770*	.006
	Sig. (2-tailed)	.016		.015	.987
	N	9	9	9	9
TSP	Pearson Correlation	.642	.770*	1	.042
	Sig. (2-tailed)	.062	.015		.914
	N	9	9	9	9
kepadatan	Pearson Correlation	-.095	.006	.042	1
	Sig. (2-tailed)	.808	.987	.914	
	N	9	9	9	9

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Dari hasil analisis pada tabel 4.16, untuk kepadatan lalu lintas dengan *Particulate Matter* 2,5 (PM_{2,5}) menunjukkan koefisien korelasi (r) = - 0,095. Ini berarti menunjukkan hubungan yang negatif antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi *Particulate Matter* 2,5 (PM_{2,5}) dan hubungan yang terjadi sangat lemah ($0 < r < 0,25$). Artinya semakin rendah nilai kepadatan lalu lintas yang terjadi, maka nilai konsentrasi *Particulate Matter* 2,5 (PM_{2,5}) justru semakin tinggi ataupun sebaliknya. Angka signifikansi (p) yang dihasilkan dari hubungan kedua variabel ini menunjukkan angka 0,808 pada taraf kepercayaan 95%, angka ini $> 0,05$, sehingga hubungan yang terjadi tidak signifikan. Koefisien determinasi (r^2) dari dua variabel ini adalah 0,009025. Dengan demikian dapat diketahui jika pengaruh kepadatan lalu lintas terhadap konsentrasi *Particulate Matter* 2,5 (PM_{2,5}) hanya 0,9025%, artinya 99,0975% konsentrasi PM_{2,5} dipengaruhi oleh faktor lainnya seperti suhu udara, kelembaban udara, arah dan kecepatan angin yang terdapat di lokasi selama penelitian. Pengambilan sampling PM_{2,5} yang hanya dilakukan pada pagi hari diperkirakan berpengaruh terhadap terjadinya hubungan yang terbalik antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi PM_{2,5}. Hal

ini karena pengambilan sampling kepadatan lalu lintas dilakukan tidak hanya pada waktu pagi hari melainkan pada siang hari, sore hari dan malam hari.

Hubungan antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi *Particulate Matter* 10 menunjukkan koefisien korelasi (r) = 0,006. Hal tersebut menunjukkan hubungan yang positif antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi PM_{10} . Hubungan yang terjadi pada variabel ini termasuk dalam hubungan yang sangat lemah karena nilai (r) berada pada ($0 < r < 0,25$). Angka signifikansi (p) dari hubungan dua variabel ini adalah 0,987, hal ini berarti menunjukkan hubungan yang tidak signifikan karena nilai signifikasnsi (p) dari dua variabel ini $> 0,05$ pada taraf kepercayaan 95%. Koefisien determinasi dari (r^2) dari dua variabel ini adalah 0,000036. Sehingga dapat diketahui bahwa pengaruh kepadatan lalu lintas terhadap konsentrasi PM_{10} hanya 0,0036% dan 99,9964% dipengaruhi faktor lainnya yang menyebabkan terbentuknya pencemar PM_{10} .

Sedangkan untuk hubungan antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi Total Suspended Particulate (TSP) menunjukkan hubungan koefisien korelasi (r) = 0,042. Artinya hubungan dua variabel kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi *Total Suspended Particulate* menunjukkan hubungan yang positif dengan hubungan korelasi yang sangat lemah karena koefisien korelasi (r) terletak antara ($0 < r < 0,25$). Angka signifikansi (p) dari hubungan dua variabel ini sebesar 0,915. Artinya hubungan dua variabel ini tidak signifikan karena nilai signifikansi (p) pada taraf kepercayaan 95% dalam hubungan ini lebih dari 0,05. Untuk koefisien determinasi (r^2) dari dua variabel ini sebesar 0,001764. Dari sini bisa diketahui jika koefisien determinasi hanya 0,001764, maka pengaruh kepadatan lalu lintas terhadap konsentrasi TSP hanya 0,1764%, sedangkan 99,8236% dipengaruhi oleh faktor lainnya.

Pada saat pengambilan sampel $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP yang berlangsung selama hampir satu bulan ini terdapat perbedaan kondisi cuaca di setiap lokasi sehingga hasil penelitian ini tidak dapat dijadikan perbandingan dari satu lokasi ke lokasi yang lainnya. Faktor arah dan kecepatan angin juga mempengaruhi konsentrasi polutan di udara, karena angin dapat membawa polutan dari satu daerah ke daerah yang lain meskipun dalam jarak yang jauh. Kondisi hujan sangat

berpengaruh terhadap nilai konsentrasi partikulat karena pada saat di lokasi terjadi hujan maka persebaran konsentrasi partikulat di udara hampir tidak ada. Selain vegetasi tumbuhan hijau dapat mengurangi kadar polutan di udara, semakin banyak vegetasi tumbuhan hijau yang berada di lokasi penelitian maka hampir dipastikan kadar polutan di lokasi tersebut akan berkurang.

4.7.2 Hubungan Antara Kepadatan Lalu Lintas Khususnya Kendaraan Jenis *Heavy Vehicle* dengan Konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP

Karena dalam hasil uji korelasi antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP menghasilkan hubungan yang sangat lemah, maka peneliti mencoba kembali melakukan uji korelasi antara kendaraan jenis *heavy vehicle* dengan konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP. Hasil uji korelasi antara kendaraan jenis *heavy vehicle* dengan konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hubungan Analisis Korelasi Berganda Antara Kendaraan Jenis *Heavy Vehicle* dengan Konsentrasi *Particulate Matter* 2,5 ($PM_{2,5}$), *Particulate Matter* 10 (PM_{10}) dan *Total Suspended Particulate* (TSP)

		PM2.5	PM10	TSP	KEPADATAN
PM2.5	Pearson Correlation	1	.766*	.642	.570
	Sig. (2-tailed)		.016	.062	.109
	N	9	9	9	9
PM10	Pearson Correlation	.766*	1	.770*	.539
	Sig. (2-tailed)	.016		.015	.134
	N	9	9	9	9
TSP	Pearson Correlation	.642	.770*	1	.302
	Sig. (2-tailed)	.062	.015		.429
	N	9	9	9	9
KEPADATAN	Pearson Correlation	.570	.539	.302	1
	Sig. (2-tailed)	.109	.134	.429	
	N	9	9	9	9

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Dari tabel 4.17 dapat dilihat bahwa hubungan antara kendaraan jenis *heavy vehicle* dengan konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP terdapat adanya suatu hubungan korelasi yang positif.

Untuk hubungan antara kendaraan jenis *heavy vehicle* dengan konsentrasi $PM_{2,5}$ memiliki hubungan yang kuat dengan nilai korelasi (r) = 0.570. Signifikansi dari hubungan antara kendaraan jenis *heavy vehicle* adalah 0.109, disini dapat kita simpulkan bahwa hubungan ini tidak signifikan karena signifikansi (p) > 0.05. Koefisien determinasi (r^2) dari hubungan kedua variable ini adalah 0.325. Sehingga dapat diketahui bahwa pengaruh kendaraan jenis *heavy vehicle* terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$ adalah 32.5%, sedangkan 67,5% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang lebih berpengaruh terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$ seperti arah dan kecepatan angin, kondisi cuaca saat penelitian, penempatan alat pada saat penelitian dan vegetasi hijau yang terdapat di lokasi penelitian.

Hubungan antara kendaraan jenis *heavy vehicle* dengan konsentrasi PM_{10} menunjukkan suatu hubungan yang kuat dan suatu korelasi yang positif. Korelasi (r) antara kedua variabel ini sebesar 0.539. Angka signifikansi dari kedua hubungan ini adalah 0.134. Artinya hubungan antara kendaraan jenis *heavy vehicle* dengan konsentrasi PM_{10} adalah tidak signifikan karena nilai signifikansi (p) pada taraf kepercayaan 95% dalam hubungan ini lebih dari 0,05. Untuk koefisien determinasi (r^2) dari dua variabel ini sebesar 0,290. Dari sini bisa diketahui jika koefisien determinasi hanya 0,290, maka pengaruh kepadatan lalu lintas terhadap konsentrasi TSP hanya 29%, sedangkan 71% dipengaruhi oleh faktor lainnya.

Sedangkan hubungan antara kendaraan jenis *heavy vehicle* dengan konsentrasi *Total Suspended Particulate* menunjukkan koefisien korelasi (r) = 0,302. Hal tersebut menunjukkan hubungan yang positif antara kendaraan jenis *heavy vehicle* dengan konsentrasi TSP. Hubungan yang terjadi pada variabel ini termasuk dalam hubungan yang cukup karena nilai (r) berada pada ($0 < r < 0,25$). Angka signifikansi (p) dari hubungan dua variabel ini adalah 0,429, hal ini berarti menunjukkan hubungan yang tidak signifikan karena nilai signifikasnsi (p) dari dua variabel ini > 0,05 pada taraf kepercayaan 95%. Koefisien determinasi dari (r^2) dari dua variabel ini adalah 0,091. Sehingga dapat diketahui bahwa pengaruh kendaraan jenis *heavy vehicle* terhadap konsentrasi TSP hanya 9,1% dan 90,9%

dipengaruhi faktor lainnya yang menyebabkan meningkatnya konsentrasi pencemar TSP.

Dari analisis korelasi antara kendaraan jenis *heavy vehicle* dengan konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP dapat diketahui bahwa ternyata keberadaan konsentrasi partikulat tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh kendaraan jenis *heavy vehicle*. Hal ini dapat dilihat karena hubungan yang terjadi antara kendaraan jenis *heavy vehicle* dengan konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP adalah tidak signifikan. Faktor meteorologi seperti arah dan kecepatan angin, kondisi cuaca di lokasi penelitian mempunyai pengaruh terhadap konsentrasi partikulat, disamping faktor penempatan alat, arah angin dan kondisi fisik di lokasi selama penelitian.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan di sepuluh titik kawasan Kota Yogyakarta, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi $PM_{2,5}$ tertinggi sebesar $52,122 \mu g/Nm^3$ terjadi di lokasi Simpang Empat Gedong Tengen, untuk pemantauan konsentrasi $PM_{2,5}$ tidak terdapat nilai konsentrasi di setiap lokasi yang melebihi dari Baku Mutu Udara Ambien PP No.41 Tahun 1999. Untuk PM_{10} tidak terdapat nilai yang melebihi dari BMUA, konsentrasi tertinggi terdapat di Simpang Empat Gedong Tengen dengan konsentrasi sebesar $45,355 \mu g/ Nm^3$. Sedangkan untuk TSP terdapat satu lokasi yang konsentrasi pencemarnya telah melebihi dari BMUA dan merupakan konsentrasi tertinggi pada penelitian ini untuk parameter TSP, yaitu terjadi pada Simpang Empat Gedong Tengen dengan konsentrasi sebesar $267,96 \mu g/ Nm^3$.
2. Hasil analisis statistik menunjukkan adanya hubungan negatif yang sangat lemah antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi *Particulate Matter* 2,5 ($PM_{2,5}$). Untuk hubungan kepadatan lalu lintas dengan *Particulate Matter* 10 (PM_{10}) dan *Total Suspended Particulate* (TSP) menunjukkan hubungan positif yang sangat lemah. Dalam uji korelasi ini bisa dikatakan hampir tidak terdapat hubungan karena menunjukkan hubungan yang sangat lemah. Hal ini menunjukkan adanya faktor lain yang lebih berpengaruh terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP di udara ambien.
3. Hasil analisis statistik menunjukkan adanya suatu hubungan positif yang kuat antara kepadatan lalu lintas jenis kendaraan *heavy vehicle* terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} . Sedangkan untuk hubungan kepadatan lalu lintas jenis kendaraan *heavy vehicle* terhadap konsentrasi TSP menunjukkan suatu hubungan yang cukup.

5.2 Saran

1. Perlu adanya pemantauan yang dilakukan setiap tahunnya agar trend dari konsentrasi pencemaran partikulat dalam bentuk $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP ini dapat diketahui.
2. Perlu partisipasi yang aktif dari masyarakat Kota Yogyakarta tentang program “Sego Segawe” dari pemerintah Kota Yogyakarta, untuk meminimalisir pencemaran udara di kawasan Kota Yogyakarta.
3. Memaksimalkan sarana transportasi yang ada di sekitar kawasan Kota Yogyakarta untuk menekan jumlah kendaraan bermotor di kawasan Kota Yogyakarta.
4. Adanya peningkatan sarana transportasi dari pihak terkait agar warga Kota Yogyakarta mau menggunakan sarana transportasi dan mengurangi penggunaan kendaraan pribadi.
5. Adanya kebijakan yang tegas dari pemerintah tentang penggunaan bahan bakar yang ramah lingkungan dan kebijakan terhadap kendaraan yang tidak lulus dalam uji emisi.
6. Adanya penelitian yang lebih lanjut mengenai kandungan atau komposisi kimia dan logam yang terdapat dalam $PM_{2,5}$, PM_{10} dan TSP.

DAFTAR PUSTAKA

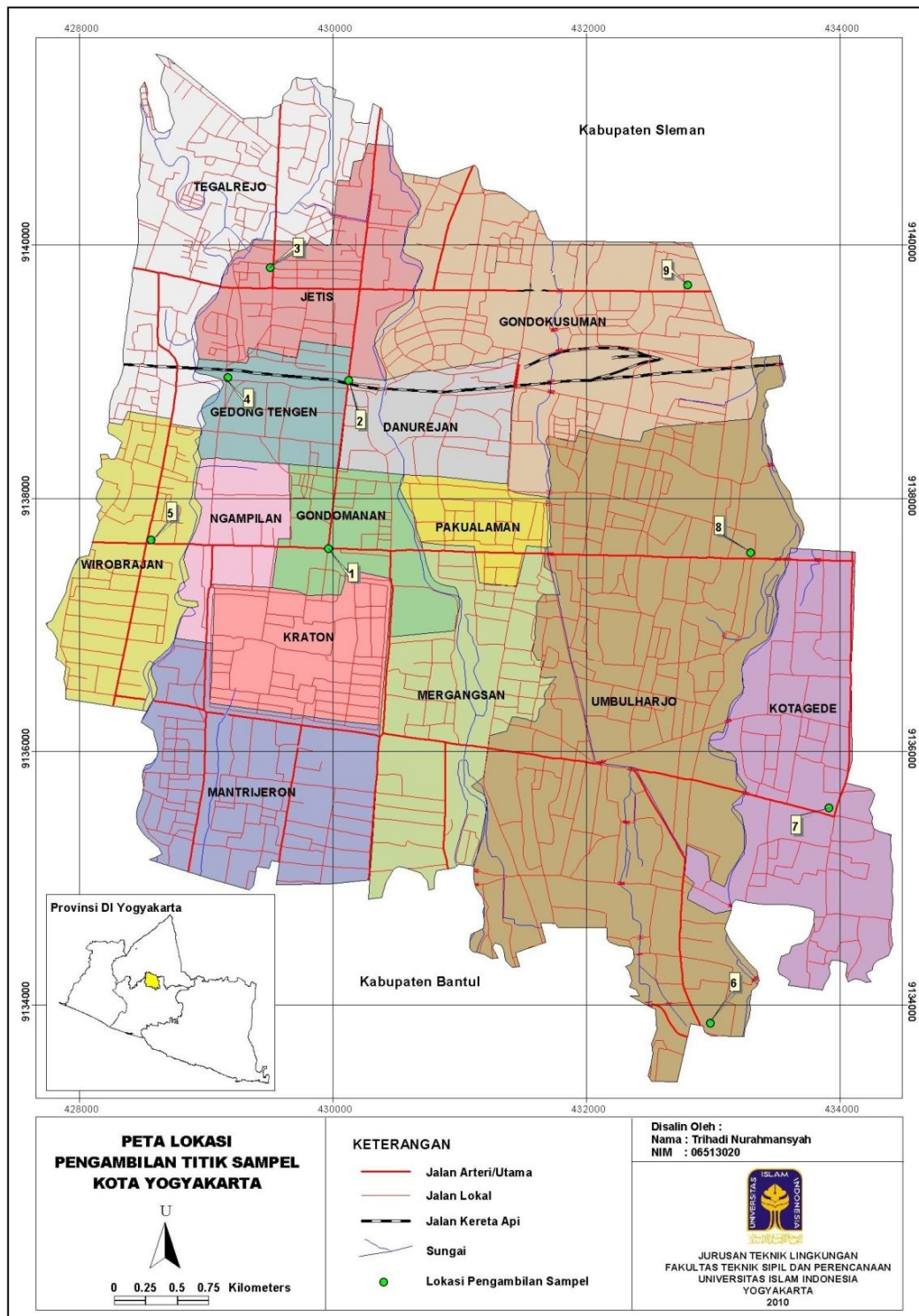
- Achmadi, U.F. 1997. *Dampak Pencemaran Udara Bagi Kesehatan Masyarakat*. Jurnal Himpunan Karangan Ilmiah DIBidang Perkotaan dan Lingkungan, Vol : 1/ 1997/ 1998. Yogyakarta: Kantor Pengkajian Perkotaan dan Lingkungan (KPPL).
- Arpan, F., Dewi & Sudjarwadi. 2004. *Kajian Meteorologis Hubungan Antara Hujan Harian dan Unsur-unsur Cuaca*. Majalah Geografi Indonesia Vol. 18. No. 2 September 2004.
- BPLHD Jawa Barat, 2009**. Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Jawa Barat
- Cooper, C.D, et al, 1986, *Air Pollution Control: A Design Approach*, Boston, PWS Engineering.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta, *Kualitas Udara Ambien Kota Yogyakarta 2008*, <http://bapedalda-diy.go.id> (23-10-2010 pukul 21.00)
- Fandeli, C. 1998. *Hutan Kota, Peranan dan Pengembangan Untuk Meningkatkan Kualitas Kehidupan*. Yogyakarta. PPLH UGM
- Fardiaz, Srikandi (2003). *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta. Penerbit Kanisius.
- Gumbira, Fajar (2006). *Analisis Konsentrasi dan Komposisi Partikulat (TSP, PM₁₀, DAN PM_{2,5}) di Udara Ambien Kampus Universitas Andalas Limau Manis dan Sekitarnya*. Fakultas Teknik Universitas Andalas.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2003. *Laporan Status Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI) 2006*. Jakarta: KNLH.
- Lab Udara Lagi PM₁₀ (February 27, 2009).
<http://andalucygroup.blogspot.com/2009/02/lab-udara-lagi-pm-10.html>
diakses pada (23-10-2010 pukul 21.20)

- Miller, T. 1990. *Environmental Science and Introduction*, 10th ed. California: Wadsworth Inc.
- Muhayatun, 2008. *Konsentrasi PM_{2,5} dan PM₁₀ Udara Ambien Di Bandung dan Lembang Tahun 2000 – 2006*. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia. Batan. Bandung.
- Mukono. J. 2008. *Pencemaran Udara dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Saluran Pernapasan*. Airlangga University Press. Surabaya.
- Particulate. (2008, November 23). <http://wiki/particulate> diakses pada (23-10-2010 pukul 21.30)
- Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 tentang *Pengendalian Pencemaran Udara*.
- Pohan, N. 2004. *Masalah Pencemaran Udara dan Partikel-Partikel*. <http://library.usu.ac.id/download/ft/tkimia-nurhasmawaty6.pdf> (23-10-2010 pukul 21.30)
- Profil Kesehatan Provinsi DIY, 2008*. Dinas Kesehatan Provinsi DIY
- Pudjiastuti, W. 2002. *Debu Sebagai Bahan Pencemar yang Membahayakan Kesehatan Kerja*. <http://www.depkes.go.id/downloads/debu/pdf> (23-10-2010 pukul 21.45)
- Rahman, Arrizal. (2008,) *Tugas Akhir tentang Hubungan Antara Kepadatan Lalu Lintas Terhadap TSP dan Kadar Pb di Sekitar Kawasan Sekolah Dasar di Kota Yogyakarta*. Jurusan Teknik Lingkungan. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Sastrawijaya, A. T. 1991. *Pencemaran Lingkungan*. Jakarta : Rhineka Cipta.
- Soedomo, M. 2001. *Pencemaran Udara*. Bandung : ITB
- Sugiyono. 2005. *Statistika Untuk Penelitian (Cetakan Ketujuh)*. Alfabeta, CV. Bandung, Indonesia.

- Suhariyono, 2004, ***Perkiraan Deposisi Partikel Udara ($PM_{10}/PM_{2,5}$ Dan TSP) pada saluran Pernafasan Penduduk Cilegon Menggunakan Pedrangkat Lunak Ludep***. Puslitbang Keselamatan Radiasi dan biomedika Nuklir (P3KRBN) -BATAN, Jakarta.
- Surjanto (2007). ***Hubungan antara Paparan Total Suspended Particulate (TSP) dan Particulate Matter $10\mu m$ (PM_{10}) di Udara Ambien dengan Gangguan Saluran Pernafasan***. Tesis. Depok: FKM UI.
- Wardhana, W. A. 1995. ***Dampak Pencemaran Lingkungan***. Yogyakarta: Andi Offset.
- Ruslinda, Yenni. 2009. ***Karakteristik fisik dan kimia partikulat di udara Ambien Daerah Urban dan Non Urban Kota Padang***. Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas.

LAMP IRAN

Lampiran 1: Peta Lokasi Penelitian



Lampiran 2: Nama dan Status Ruas Jalan di Kota Yogyakarta

Nama Jalan	Status	Panjang (m)	Lebar (m)	Arah
Abubakar Ali	Kodya	560	12	Dua Arah
Ahmad Yani	Kodya	550	12	Satu Arah
A M Sangaji	Kodya	1398	12	Dua Arah
Atmosukarto	Kodya	320	7	Dua Arah
Bantul	Propinsi	1438	12	Dua Arah
B. Katamso	Kodya	1445	10	Dua Arah
Bugisan	Kodya	588	14	Dua Arah
Cik di Tiro	Kodya	750	13	Dua Arah
Diponegoro	Kodya	540	18	Dua Arah
Faridan M Noto	Kodya	384	7	Dua Arah
Gadjah Mada	Kodya	529	8	Dua Arah
Gedonk Kuning	Propinsi	2030	13	Dua Arah
Hayam Wuruk	Kodya	722	8	Dua Arah
HOS Cokroaminoto	Nasional	2246	14	Dua Arah
IPDA Tut Harsono	Kodya	2218	8	Dua Arah
JI Kyai Mojo	Nasional	1123	13	Dua Arah
JI Magelang	Nasional	1492	12	Dua Arah
Kapt Tendean	Kodya	772	13	Dua Arah
KHA Dahlan	Kodya	800	9	Dua Arah
Kol Sugiono	Propinsi	822	14	Dua Arah
Kusumanegara	Kodya	2400	12	Dua Arah
Lempuyangan	Kodya	480	7	Dua Arah
Letjen Suprpto	Kodya	1334	14	Dua Arah
Malioboro	Kodya	736	12	Satu Arah
Mangkubumi	Kodya	740	12	Satu Arah
Mas Suharto	Kodya	497	7	Dua Arah
Mataram	Kodya	564	14	Dua Arah
Menteri Supeno	Propinsi	1145	14	Dua Arah
MT Haryono	Kodya	756	13	Dua Arah
Ngeksigondo	Propinsi	709	14	Dua Arah
Parangtritis	Kodya	1350	7,5	Dua Arah

RE Martadinata	Nasional	764	13	Dua Arah
S Parman	Kodya	620	9	Dua Arah
Senopati	Kodya	400	9	Dua Arah
Simanjuntak	Kodya	945	9	Dua Arah
Sudirman	Kodya	1440	13	Dua Arah
Sugeng Jeroni	Kodya	640	12	Dua Arah
Sultan Agung	Kodya	80	9	Dua Arah
Suroto	Kodya	320	7	Dua Arah
Suryopranoto	Kodya	420	12	Dua Arah
Suryotomo	Kodya	750	10	Dua Arah
Sutomo	Kodya	787	12	Dua Arah
Sutoyo	Kodya	613	13	Dua Arah
Tentara Pelajar	Kodya	720	10	Dua Arah
Urip Sumoharjo	Kodya	918	16	Satu Arah
Veteran	Kodya	1490	16	Satu Arah
Wachid Hasyim	Kodya	1315	9	Dua Arah
Wahidin	Kodya	845	7	Dua Arah
Wolter Monginsidi	Kodya	640	10	Dua Arah
Yos Sudarso	Kodya	654	6	Dua Arah

Sumber : Kantor DPU Kota Yogyakarta, 1991

Lampiran 3: Volume Lalu Lintas

Volume Lalu Lintas

Waktu	Jenis	Kantor Pos	Ina Garuda	Pingit	G T	Wirobrajan	Giwangan	Kotagede	SGM	Jl Solo
Pagi	Motorcycle	6169	3895	3713	16697	14172	693	2021	5039	4797
	Light Vehicle	1016	1294	1065	2091	2113	286	283	1736	1596
	Heavy Vehicle	19	23	43	86	266	48	30	63	21
	Un Motorized	621	444	88	49	472	79	63	116	126
Siang	Motorcycle	11114	7598	3815	2381	10543	2452	1718	5605	6447
	Light Vehicle	2300	2696	329	456	2097	562	498	1916	2622
	Heavy Vehicle	158	89	59	87	142	96	34	60	38
	Un Motorized	918	531	84	146	325	124	113	105	55
Sore	Motorcycle	14158	2820	3286	2381	10323	2736	3211	6710	5946
	Light Vehicle	2253	1419	1162	1849	2035	5624	496	1698	2294
	Heavy Vehicle	66	48	42	71	144	91	78	104	23
	Un Motorized	980	233	132	31	363	188	43	166	71
Malam	Motorcycle	1789	2930	785	280	0	693	393	687	2711
	Light Vehicle	407	949	291	108	0	244	110	136	925
	Heavy Vehicle	0	0	2	2	0	92	8	2	8
	Un Motorized	94	155	3	6	0	23	28	8	27
TOTAL	Motor	243	160	144	244	552	235	142	227	82
	LV	5976	6358	2847	4504	6245	6716	1387	5486	7437
	HV	33230	17243	11599	21739	35038	6574	7343	18041	19901
	SPD	5976	6358	2847	4504	6245	6716	1387	5486	7437

Tabel Analisis Kepadatan Lalu Lintas

Lokasi	Jenis				Satuan Mobil Penumpang (SMP)			TOTAL SMP	KEPADATAN SMP/JAM
	SPD Motor	Light Vehicle	Heavy Vehicle	UM	SPD Motor	Light Vehicle	Heavy Vehicle		
Kantor Pos	33230	5976	243	2613	8307.5	5976	291.6	14575.1	607.296
Ina Garuda	17243	6358	160	1363	4310.75	6358	192	10860.75	452.531
Pingit	11599	2847	146	307	2899.75	2847	175.2	5921.95	246.748
G T	21739	4504	246	232	5434.75	4504	295.2	10233.95	426.414
Wirobrajan	35038	6245	552	1160	8759.5	6245	662.4	15666.9	652.787
Giwangan	6574	6716	327	414	1643.5	6716	392.4	8751.9	364.662
Kotagede	7343	1387	150	247	1835.75	1387	180	3402.75	141.781
SGM	18041	5486	229	395	4510.25	5486	274.8	10271.05	427.960
Jl Solo	19901	7437	90	279	4975.25	7437	108	12520.25	521.677

Tabel Analisa Kepadatan Lalu Lintas Untuk Jenis Kendaraan Heavy Vehicle

Lokasi	Jenis	Satuan Mobil Penumpang (smp)	Kepadatan (smp/jam)
	Heavy Vehicle		
Kantor Pos	243	291,6	12,15
Ina Garuda	160	192	8
Pingit	146	175,2	7,3
Gedong Tengen	246	295,2	12,3
Wirobrajan	552	662,4	27,6
Giwangan	327	392,4	16,35
Kotagede	150	180	7,5
Kusumanegara SGM	229	274,8	11,45
Saphir Jl Solo	90	108	4,5

Lampiran 4 : Tabel Analisa Kapasitas Kepadatan Lalu Lintas

Nilai Kapasitas Dasar

Tipe jalan	Kapasitas dasar (smp/jam)	Catatan
Empat-lajur terbagi atau Jalan satu-arah	1650	Per lajur
Empat-lajur tak-terbagi	1500	Per lajur
Dua-lajur tak-terbagi	2900	Total dua arah

Penyesuaian Kapasitas Menurut Lebar Jalan

Tipe jalan	Lebar jalur lalu-lintas efektif (W_e) (m)	FC_w
Empat-lajur terbagi atau Jalan satu-arah	Per lajur	
	3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
	4,00	1,08
Empat-lajur tak-terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,95
	3,50	1,00
	3,75	1,05
	4,00	1,09
Dua-lajur tak-terbagi	Total dua arah	
	5	0,56
	6	0,87
	7	1,00
	8	1,14
	9	1,25
	10	1,29
	11	1,34

Penyesuaian Pemisah Arah (FC_{sp})

Pemisahan arah SP %-%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC_{sp}	Dua-lajur 2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat-lajur 4/2	1,00	0,985	0,97	0,955	0,94

Penyesuaian Hambatan Samping (Jalan dengan Bahu)

Tipe jalan	Kelas hambatan samping	Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan lebar bahu FC_{sr}			
		Lebar bahu efektif W_b			
		$< 0,5$	1,0	1,5	$\geq 2,0$
4/2 D	VL	0,96	0,98	1,01	1,03
	L	0,94	0,97	1,00	1,02
	M	0,92	0,95	0,98	1,00
	H	0,88	0,92	0,95	0,98
	VH	0,84	0,88	0,92	0,96
4/2 UD	VL	0,96	0,99	1,01	1,03
	L	0,94	0,97	1,00	1,02
	M	0,92	0,95	0,98	1,00
	H	0,87	0,91	0,94	0,98
	VH	0,80	0,86	0,90	0,95
2/2 UD atau Jalan satu-arah	VL	0,94	0,96	0,99	1,01
	L	0,92	0,94	0,97	1,00
	M	0,89	0,92	0,95	0,98
	H	0,82	0,86	0,90	0,95
	VH	0,73	0,79	0,85	0,91

Penyesuaian Ukuran Kota (FC_{cs})

Ukuran kota (Juta penduduk)	Faktor penyesuaian untuk ukuran kota
$< 0,1$	0,86
0,1 - 0,5	0,90
0,5 - 1,0	0,94
1,0 - 3,0	1,00
$> 3,0$	1,04

Lampiran 5 : Analisa Derajat Kejenuhan

Untuk mengetahui tingkat pelayanan jalan di setiap titik lokasi penelitian dilakukan dengan cara menghitung derajat kejenuhan di setiap titik sesuai dengan MKJI 1997. Persamaan yang digunakan dalam menghitung derajat kejenuhan dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

$$D = Q / C$$

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sf} \times FC_{sp} \times FC_{cs}$$

Dengan : D = Derajat Kejenuhan

Q = Volume Lalu Lintas (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

C_o = Kapasitas dasar (kendaraan/jam) (Lampiran 4)

FC_w = Faktor Koreksi Lebar Jalur (Lampiran 4)

FC_{sf} = Faktor Koreksi Hambatan Sampling (Lampiran 4)

FC_{sp} = Faktor Koreksi Pemisah Arah (Lampiran 4)

FC_{cs} = Faktor Korelasi Ukuran Kota (Lampiran 4)

Contoh Perhitungan:

1. Kantor Pos

Kendaraan Ringan (LV)	: 5976 kendaraan/6jam	= 5976 smp/6jam
Kendaraan Berat (HV)	: 243 kendaraan/6jam	= 291,6 smp/6jam
Sepeda Motor	: 33230 kendaraan/6jam	= 8307,5 smp/6jam

$$Q = \frac{5976 + 291,6 + 8307,5}{6} = 14575,1 \text{ smp/6jam}$$
$$Q = 2429,183 \text{ smp/jam}$$

Analisa Kapasitas :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sf} \times FC_{sp} \times FC_{cs}$$

Dengan,

$$\begin{array}{llll} C_o & = 1500 \times 4 = 6000 & FC_{cs} & = 0,94 & FC_{sf} & = 0,87 \\ FC_w & = 0,91 & FC_{sp} & = 1 \end{array}$$

Maka,

$$\begin{array}{ll} C & = C_o \times FC_w \times FC_{sf} \times FC_{sp} \times FC_{cs} \\ C & = 6000 \times 0,91 \times 0,87 \times 1 \times 0,94 \end{array}$$

$$= 4465,188 \text{ smp/jam}$$

Derajat Kejenuhan:

$$D = \frac{Q}{C}$$

$$D = \frac{2429,183}{4465,188} = 0,544$$

Tabel Analisis Kapasitas dan Derajat Kejenuhan

Lokasi	TOTAL SMP	Q (SMP/T _{SAMPLING})	Co	Lajur	Co	FCw	FCsp	FCsf	FCcs	C	Q/C	Tingkat Pelayanan
Kantor Pos	14575.1	2429.183	1500	4	6000	0.91	1	0.87	0.94	4465.188	0.544	C
Ina Garuda	10860.75	1810.125	1650	4	6600	0.92	1	0.88	0.94	5022.758	0.360	B
Pingit	5921.95	986.992	1650	4	6600	0.92	1	0.94	0.94	5365.219	0.184	B
G T	10233.95	1705.658	1650	4	6600	1	1	0.96	0.94	5955.84	0.286	B
Wirobrajan	15666.9	3481.533	1650	4	6600	0.96	1	0.92	0.94	5479.373	0.635	C
Giwangan	8751.9	1458.65	1650	4	6600	1.06	1	0.92	0.94	6050.141	0.241	B
Kotagede	3402.75	567.125	1500	4	6000	0.95	1	0.96	0.94	5143.68	0.110	A
SGM	10271.05	1711.842	1500	4	6000	0.91	1	0.92	0.94	4721.808	0.362	B
Jl Solo	12520.25	2086.708	1650	4	6600	1.06	1	0.92	0.94	6050.141	0.345	C

Lampiran 6: Analisa Perhitungan Konsentrasi

Konsentrasi

$$\text{Konsentrasi (ug/Nm}^3\text{)} = \frac{\text{massa}}{\text{Volume Standar}}$$

Dengan,

$$\text{Massa (gr)} = \text{Massa Isi} - \text{Massa Kosong}$$

$$\text{Volume Standar (Nm}^3\text{)} = \text{Volume udara} \times \frac{P_{\text{sampling}}}{P_{\text{standar}}} \times \frac{T_{\text{standar}}}{(273 + T_{\text{sampling}})}$$

Keterangan:

P sampling = Tekanan udara pada saat penelitian (mmHg)

P standar = Tekanan pada kondisi standar (760 mmHg)

T standar = Suhu pada kondisi standar yaitu 25⁰C, konversi ke Kelvin (25 + 273 = 298 K)

T sampling = Suhu udara pada saat penelitian (C)

Konsentrasi 24 jam

$$\text{Konsentrasi (ug/Nm}^3\text{)} = \left(Ct \times \left(\left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{0,186} \right) \right)$$

Keterangan:

Ct = konsentrasi udara hasil pengukuran (ug/Nm³)

t₁ = waktu sampling (1 jam)

t₂ = waktu dalam 1 hari (24 jam)

Lampiran 7: Analisa Perhitungan Konsentrasi PM_{2,5}

No	Lokasi	Konsentrasi (ug/m3)	Durasi (jam)	Suhu Celcius	Tekanan Pascal	Tekanan mmHg	Massa (ug)	Volume (m3)	Vstandar (Nm3)	Konsentrasi (ug/Nm3)	Konsentrasi 24 jam
1	Kantor Pos	13	1	30.45	99753.5	748.211	13	1	0.967	13.446	7.445
2	Ina Garuda	25	1	31.78	99724.25	747.992	25	1	0.962	25.979	14.385
3	Pingit	63.9	2	32.49	99659.4	747.505	63.9	1	0.959	66.601	41.952
4	Gedong T	80.6	2	28.31	99793.44	748.511	80.6	1	0.974	82.746	52.122
5	Wirobrajan	75	2	28.97	99772	748.350	75	1	0.972	77.182	48.617
6	Giwangan	86.5	1	29.42	100118	750.945	86.5	1	0.974	88.841	49.192
7	Kotagede	35.55	1	32.06	99468.75	746.075	35.55	1	0.959	37.071	20.527
8	SGM	51.78	2	31.59	99878.43	749.148	51.78	1	0.964	53.692	33.820
9	Saphir	30.87	1	27.75	99620.47	747.213	30.87	1	0.974	31.688	17.546

Contoh Perhitungan PM_{2,5}

1. Lokasi Kantor Pos

$$\text{Konsentrasi} = 13 \text{ ug/m}^3$$

$$\text{Massa} = 13 \text{ ug}$$

$$\text{Volume} = 1 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{standar}} = (1 \text{ m}^3 \times (\frac{748,2111}{760}) \times (\frac{298}{(273+30,45)})) = 0,9668 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Konsentrasi} = \frac{13}{0,9668} = 13,446 \text{ ug/Nm}^3$$

$$\text{Konsentrasi (24jam)} = \left(13,466 \times \left(\left(\frac{1}{24} \right)^{0,186} \right) \right) = 7,445 \text{ ug/Nm}^3$$

Lampiran 8: Analisa Perhitungan Konsentrasi PM₁₀

No	Lokasi	Konsentrasi (ug/m3)	Durasi (jam)	Suhu Celcius	Tekanan Pascal	Tekanan mmHg	Massa (ug)	Volume (m3)	Vstandar (Nm3)	Konsentrasi (ug/Nm3)	Konsentrasi 24 jam
1	Kantor Pos	13.11	10	34.66	99574.44	746.868	13.11	1	0.952	13.773	11.703
2	Ina Garuda	13	3	35.58	99730	748.035	13	1	0.951	13.677	9.290
3	Pingit	20.52	12	33.88	99525	746.497	20.52	1	0.954	21.514	18.911
4	Gedong T	50.3	11	32.35	99590.82	746.991	50.3	1	0.959	52.438	45.355
5	Wirobrajan	52.28	6	32.86	99604.43	747.093	52.28	1	0.958	54.586	42.179
6	Giwangan	36.6	12	31.24	100036.6	750.335	36.6	1	0.967	37.848	33.270
7	Kotagede	34.08	11	34.23	99880.2	749.161	34.08	1	0.956	35.644	30.829
8	SGM	27.37	12	34	99643.66	747.387	27.37	1	0.955	28.672	25.204
9	Saphir	28.1	13	31.56	99493.03	746.257	28.1	1	0.961	29.247	26.095

Contoh Perhitungan PM₁₀

1. Lokasi Kantor Pos

$$\text{Konsentrasi} = 13,11 \text{ ug/m}^3$$

$$\text{Massa} = 13,11 \text{ ug}$$

$$\text{Volume} = 1 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{standar}} = (1 \text{ m}^3 \times \left(\frac{746,868}{760}\right) \times \left(\frac{298}{(273+34,66)}\right)) = 0,952 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Konsentrasi} = \frac{13,11}{0,9518} = 13,773 \text{ ug/Nm}^3$$

$$\text{Konsentrasi (24jam)} = \left(13,7729 \times \left(\left(\frac{10}{24}\right)^{0,186}\right)\right) = 11,703 \text{ ug/Nm}^3$$

Lampiran 9: Analisa Perhitungan Konsentrasi TSP

No	Lokasi	massa ksg (gr)	massa isi (gr)	berat tsp (gr)	tekanan mmHg	suhu celcius	volume udara (m3)	Volume (Nm3)	Konsentrasi (gr/Nm3)	Konsentrasi (ug/Nm3)
1	Kantor Pos	2.7778	2.9899	0.2121	774.6	32.8	1838.61	1826.133	0.000116147	116.147
2	Ina Garuda	2.777	2.9391	0.1621	759	31.7	1789.74	1748.083	9.27302E-05	92.730
3	Pingit	2.7571	3.045	0.2879	758	33.4	1665.78	1615.849	0.000178173	178.173
4	Gedong T	2.5542	3.0403	0.4861	759	31.2	1854.24	1814.058	0.000267963	267.963
5	Wirobrajan	2.7428	2.9784	0.2356	760	32.2	1093.8	1067.996	0.0002206	220.600
6	Giwangan	2.7672	2.9546	0.1874	761.6	30.7	1770.54	1740.967	0.000107641	107.641
7	Kotagede	2.7765	3.097	0.3205	759	32.8	2063.76	2008.474	0.000159574	159.574
8	SGM	2.7593	3.0572	0.2979	759	32	1821.96	1777.802	0.000167566	167.566
9	Saphir	2.764	3.0423	0.2783	757.5	31	1913.4	1869.466	0.000148866	148.866

Contoh Perhitungan TSP

1. Lokasi Kantor Pos

Massa = 0,2121 gr

Volume = 1838,61 m³

$$V_{\text{standar}} = (1838,61 \text{ m}^3 \times (\frac{774,6}{760}) \times (\frac{298}{(273+32,8)})) = 1826,133 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Konsentrasi} = \frac{0,2121}{1826,133} = 0,000116147 \text{ g/Nm}^3 = 116,147 \text{ ug/Nm}^3$$

$$\text{Konsentrasi (24jam)} = \left(116,147 \times \left(\left(\frac{24}{24} \right)^{0,186} \right) \right) = 116,147 \text{ ug/Nm}^3$$