

**EVALUASI PENGGUNAAN MODEL GAUSSIAN PADA RUAS  
JALAN PROF.DR.SOEPOMO JAKARTA TERKAIT DENGAN  
KEBERADAAN POHON DIPINGGIR JALAN**



**TESIS**

**F a i z a l**  
L4K-002048

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
TAHUN 2004**

# TESIS

## Evaluasi Penggunaan Model Gaussian pada Ruas Jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta Terkait Dengan Keberadaan Pohon di Pinggir Jalan

Disusun oleh :

**F a i z a l**

L4K-002048

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal 19 Juni 2004  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

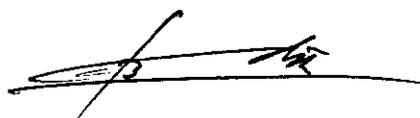
Menyetujui,

**Pembimbing I**



Ir. Nany Yuliasuti, MSP

**Pembimbing II**



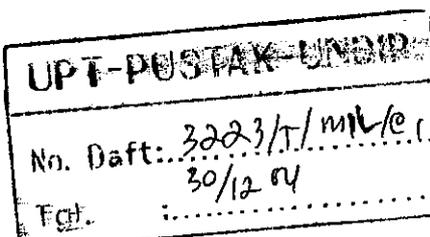
Ir. Syafrudin, CES, MT

**Ketua Program**

**Magister Ilmu Lingkungan**



  
Prof. Dr. Sudharto P.Hadi, MES



Judul Tesis : Evaluasi Penggunaan Model Gaussian pada Ruas Jalan  
Prof.Dr.Soepomo Jakarta Terkait dengan Keberadaan  
Pohon Dipinggir Jalan  
Nama Mahasiswa : F a i z a l  
NIM : L4K-002048  
Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan  
Konsentrasi : Rekayasa Lingkungan

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal 19 Juni 2004  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Menyetujui,

**Pembimbing I**



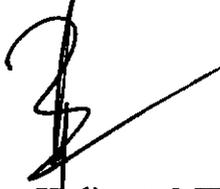
Ir. Nany Yuliasuti, MSP

**Pembimbing II**



Ir. Syafrudin, CES, MT

**Penguji I**



Ir. Agus Hadiyanto MT

**Penguji II**



Ir. Danny Sutriyanto MEng

**Ketua Program**

**Magister Ilmu Lingkungan**



  
Dr. Sudharto P.Hadi, MES

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama **Faizal** dilahirkan di Jakarta pada tanggal 12 September 1964, anak ke 6 dari sembilan bersaudara dari pasangan H.Zainal Abidin Kamil dan Hj.Nuraini, masa sekolahnya dihabiskan di kota Jakarta, lulus pada tingkatan Sarjana Strata - 1 ( S-1) pada Fakultas Teknik Sipil - Jurusan **Teknik Sipil Transportasi** di Institut Sains dan Teknologi Nasional - Jakarta pada tahun 1992. Penulis mempunyai satu orang istri dan dua orang anak laki-laki dan perempuan. Mulai masuk menjadi pegawai Calon Pegawai Negeri Sipil (CPNS) pada Departemen Pekerjaan Umum tahun 1993 dan di tempatkan di Regional Betterment Office (RBO I) Medan - Direktorat Jenderal Bina Marga

Departemen Pekerjaan Umum yang berkedudukan di kota Medan. Pada tahun 1996 di angkat menjadi Pegawai Negeri Sipil. RBO I Medan bergerak dalam bidang pengadaan tenaga ahli dalam bidang perencanaan dan pengawasan jalan dan jembatan untuk wilayah Propinsi DI Aceh, Sumatera Utara, Riau dan Sumatera Barat. Tahun 2000 kembali ke Jakarta dan ditempatkan pada Subdit Anggaran Bantuan Luar Negeri Direktorat Bina Program Direktorat Jenderal Bina yang bertugas menangani program-program Bantuan Luar Negeri dari Asia Development Bank khususnya ADB 1428-INO, ADB Road Rehabilitation Sector Project (RRSP) 1807-INO Marga. Tahun 2001 ditempatkan pada Proyek Pembinaan Teknik Jalan dan Jembatan Direktorat Bina Teknik Ditjen Prasarana Wilayah hingga sekarang yang bertugas menangani proyek-proyek APBN dan BLN (HSIP, SRRP-World Bank, ADB, JBIC-Japan), dalam bidang pengadaan tenaga ahli lokal maupun asing (expatriate) dalam bidang Design and Supervision of Road and Bridge Project, studi-studi serta pelatihan-pelatihan untuk staf-staf proyek didaerah termasuk AMDAL bidang jalan dan jembatan di seluruh Indonesia.

Beberapa pelatihan telah banyak diikuti yaitu antara lain Highway Capacity Manual (HCM) tahun 1994 di Bandung, Interurban Road Management System (IRMS) 1995 di Bandung, AMDAL 1995 di Padang dan 1998 di Medan. Pelatihan Pengadaan Tenaga Konsultan Bidang Jalan dan Jembatan baik untuk tenaga lokal maupun asing tahun 1997 dan 2001 di Medan dan Jakarta.

Akhir tahun 2002 mendapatkan beasiswa program RRSP-ADB 1870-INO Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah - Departemen KIMPRASWIL untuk melanjutkan studi program Pasca Sarjana Program Magister Ilmu Lingkungan - Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang. dengan judul tesis "**Evaluasi Penggunaan Model Gaussian pada Ruas Jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta Terkait dengan Keberadaan Pohon Dippinggir Jalan**" adalah salah satu bentuk sumbangan kepada bidang lingkungan jalan guna menekan pencemaran yang ditimbulkan oleh kendaraan bermotor.

## P E R N Y A T A A N

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis in adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan didalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan Lembaga Pendidikan lainnya.

Semua informasi dan pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum atau tidak diterbitkan, dengan ataupun dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dimana sumbernya dijelaskan didalam tulisan dan daftar pustaka dan isi tesis ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Semarang , 19 Juni 2004

Penulis,

**F a i z a l**

L4K-002048

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kesehatan dan kemampuan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tesis ini yang merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk mencapai gelar Magister pada Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro. Adapun judul Tesis yang penulis angkat adalah **“Evaluasi Penggunaan Model Gaussian pada Ruas Jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta Terkait Dengan Keberadaan Pohon Dippinggir Jalan”**.

Dalam penyusunan Tesis ini, berbagai pihak telah membantu dan membimbing, baik secara langsung maupun tidak langsung hingga terselesaikannya Tesis ini. Dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan penghargaan dan ucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES, sebagai Ketua Program Magister Ilmu Lingkungan, Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro.
2. Ir. Nany Yulastuti, MSP, sebagai dosen pembimbing I.
3. Ir. Syafrudin, CES, MT, sebagai pembimbing II.
4. Ir. Agus Hadiyanto, MT, sebagai dosen penguji I.
5. Ir. Danny Sutrinanto MEng, sebagai dosen penguji II.
6. Sekretaris Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, yang telah memberikan kesempatan penyusun untuk mengikuti Program Pasca Sarjana, Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro dan atas bantuannya baik materiil maupun moril dalam penyelesaian tugas belajar.

7. Direktur Bina Teknik - Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah - Departemen KIMPRASWIL yang telah memberi dorongan, bantuan baik selama proses belajar hingga terselesaikannya tesis ini.
8. Pemimpin Proyek Pembinaan Teknik Jalan dan Jembatan – Direktorat Bina Teknik - Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah - Departemen KIMPRASWIL, yang telah memberi bantuan baik moril dan materil selama proses belajar hingga terselesaikannya tesis ini.
9. Istriku tersayang Rita SH dan kedua anakku tercinta M.Fadhil dan Putri Amanda F. yang telah memberi motivasi dalam penyelesaian tesis ini, dan
10. Semua pihak yang telah membantu penyusunan penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penyusun menyadari bahwa Tesis ini dirasakan masih banyak kekurangannya dan jauh dari sempurna, karena keterbatasan penyusun, oleh karena itu dengan tulus penulis mengharapkan kritik dan saran guna kelengkapan dari penyusunan tesis ini.

Semarang, Juni 2004

Penulis,

## ABSTRACT

The raise of city's vehicle like in Jakarta causes traffict density in the street such as in Prof.Dr.Soepomo Street. It's raising causes the increase of pollution concentration in that location. The absence of the air pollution model especially in Prof.Dr.Soepomo Street Jakarta and there is no information about degree of influence of trees located on Prof.Dr.Soepomo Street.

Based on the condition, it has been done research aims to predict emission of Nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and Carbon monoxide (CO) in Prof.Dr.Soepomo Street based on continual degree of density in 24 hours, evaluate NO<sub>2</sub> and CO concentration spread caused by vehicle activity in the observational location, identify NO<sub>2</sub> and CO concentration related to trees located on Prof.Dr.Soepomo Street Jakarta.

Analysis method using in this research is descriptive method, that is by doing data processing and by parting and describing by using Gaussian Polluter model to predict the spread of NO<sub>2</sub> and CO and to evaluate deviation based on the measurement.

Research result describes that based on the number of traffic density amount to 2.250 pcu/hour with the speed of vehicle about 30 km/hour, so it can be gained traffict emissin of NO<sub>2</sub> in Prof.Dr.Soepomo Street is 2.249 g/km.second, while CO emission is 0.04814 g/km.second, the amount of the deviation between prediction result of Gaussion dispersion model for stable air condition and wind speed is 1.0 m/second with pollution concentration resulted from measurement on the entire observation height point for NO<sub>2</sub> pollution is between 0.94% - 27.25%, while the amount of CO is between 3.11% to 6.3%. NO<sub>2</sub> and CO concentration spread caused by vehicle activity in Prof.Dr.Soepomo Street on each observation height point is still below 24 hours standart, that is 0.075 ppm or 150 µg/Nm<sup>3</sup>. when the volume of vehicle is low (<1000 vehicle per hour) from 23.00 o'clock to 07.00 o'clock PM, degree of concentration absorpction of NO<sub>2</sub> by trees in Prof.Dr.Soepomo Street Jakarta is about 0.013 ppm or 39% it shows that Mahagoni tree, with the height about 8.00 meters with plant density percentage about 72%, located on Prof.Dr.Soepomo Street is effective enough to absorb Nitrogen oxide Pollutant (NO<sub>2</sub>).

Bades on this research result, it is hoped that Gaussian Model in Prof.Dr.Soepomo Street Jakarta can be used for day condition wheather in cloudy or clear condtion. Based on the increase of vehicle, so it causes traffict jam resulted on pollutant concentration increase and it can be tried to control or drecrease pollutant concentration (NO<sub>2</sub> and CO) with trees plantation along Prof.Dr.Soepomo Street Jakarta.

---

**Keywords** : Air Pollution, Street Plantation, Nitrogen oxide, Carbon monoxide and Gaussion Dispersion Model.

## ABSTRAK

Pertambahan jumlah kendaraan perkotaan seperti kota Jakarta menyebabkan tingkat kerapatan lalu lintas di jalan seperti halnya di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta semakin meningkat yang mengakibatkan peningkatan konsentrasi pencemar di lokasi tersebut, belum ada model prediksi penyebaran pencemaran udara khususnya di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta serta belum mengetahui besarnya pengaruh terhadap keberadaan tanaman pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo.

Berdasarkan keadaan tersebut diatas maka dilakukan penelitian yang bertujuan untuk memprediksi laju emisi Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Karbon monoksida di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta berdasarkan tingkat kerapatan kendaraan secara kontinu dalam 24 jam, mengevaluasi penyebaran konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan CO yang ditimbulkan oleh aktivitas kendaraan bermotor pada lokasi pengamatan, mengidentifikasi konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan CO terkait dengan keberadaan tanaman di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta.

Metode analisis yang digunakan adalah metode deskriptif yaitu melakukan pengolahan data dan menguraikan serta menjabarkan dengan menggunakan model Gaussian Pencemar, dimana memprediksi penyebaran konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan CO dan mengevaluasi besarnya penyimpangan dengan hasil pengukuran.

Hasil penelitian menggambarkan bahwa berdasarkan jumlah lalu lintas sebesar 2.250 smp/jam dengan kecepatan kendaraan rata-rata sebesar 30 km/jam, maka didapat emisi lalu lintas untuk ruas jalan Prof.Dr.Soepomo untuk  $\text{NO}_2$  adalah sebesar 2.249 g/km.det atau 2,249 g/m.det., sedangkan emisi CO sebesar 0.04814 g/km detik, besarnya penyimpangan antara hasil prediksi dispersi model Gaussian untuk kondisi udara stabil dan kecepatan angin 1.0 m/detik dengan konsentrasi polutan hasil pengukuran pada seluruh ketinggian titik pengamatan untuk konsentrasi polutan  $\text{NO}_2$  adalah sebesar antara 0.94 % - 27.25%, sedangkan untuk CO antara 3.11% sampai dengan 6.3%, Penyebaran konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan CO yang ditimbulkan oleh aktivitas kendaraan di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo pada masing-masing ketinggian titik pengamatan masih dibawah baku mutu 24 jam sebesar 0.075 ppm atau 150  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , pada saat jumlah volume kendaraan rendah (<1000 kendaraan per jam) dari pukul 23.00 – 07.00 WIB, tingkat penjerapan konsentrasi  $\text{NO}_2$  oleh tanaman dipinggir jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta rata-rata sebesar 0.013 ppm atau 39%, hal menunjukkan bahwa tanaman Mahoni dengan ketinggian rata-rata 8.00 m dan persentase kerimbunan sebesar 72% yang ada di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo cukup efektif dalam menjerap polutan Nitrogen oksida ( $\text{NO}_2$ ).

Dari hasil penelitian ini diharapkan bahwa Model Gaussian pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta dapat digunakan untuk kondisi siang hari dengan sedikit awan atau cerah, dan berdasarkan pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor menyebabkan kemacetan yang berakibat peningkatan konsentrasi polutan, maka dapat diupayakan pengendalian atau pengurangan konsentrasi polutan ( $\text{NO}_2$  dan CO) dengan penanaman pohon disisi jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta.

---

**Kata kunci:** Pencemaran Udara, Tanaman Jalan, Nitrogen oksida, Karbon monoksida dan model dispersi Gaussian

## DAFTAR ISI

ABSTRAK	
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
<b>BAB I    PENDAHULUAN</b>	
1.1    Latar Belakang Masalah	1
1.2    Identifikasi dan Perumusan Masalah	3
1.3    Tujuan Penelitian	4
1.4    Kegunaan Penelitian	4
<b>BAB II    TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1    Klasifikasi Jalan	6
2.2    Pencemaran Udara	8
2.3    Nitrogen dioksida	12
2.4    Karbon monoksida	14
2.5    Proses Perpindahan Zat Pencemar Udara di Atmosfir	17
2.6    Model Dispersi Kontaminan di Atmosfir	19
2.7    Model Pencemaran Udara	20
2.7.1    Model Dispersi Menurut Gauss	20
2.7.2    Meteorologi Pencemaran Udara	24

2.7.3	Stabilitas Atmosfir	27
2.7.4	Volume Lalu Lintas	28
2.7.5	Pola Berkendara	30
2.8	Pengaruh Keberadaan Tanaman Jalan terhadap Pencemaran Udara	32
2.9	Pengertian Stomata Daun	37

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1.	Rancangan Penelitian	43
3.2.	Ruang Lingkup Penelitian	43
3.3.	Lokasi Penelitian	43
3.4.	Jenis dan Sumber Data	45
3.5.	Intrumen Penelitian	45
3.5.1.	Pengukuran Parameter NO <sub>2</sub>	45
3.5.2.	Pengukuran Parameter CO	46
3.5.3.	Pengumpulan Data Volume Kendaraan	47
3.5.4.	Pengamatan Visual Tanaman	47
3.6.	Analisa Data	48
3.6.1.	Volume Kendaraan	48
3.6.2.	Emisi	48
3.6.3.	Model Gaussian	49

## **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1. Gambaran Umum Jalan Prof.Dr.Soepomo – Jakarta	51
4.2. Data Hasil Penelitian	55
4.2.1. Komposisi dan Volume Lalu Lintas	55
4.2.2. Konsentrasi NO <sub>2</sub> dan CO	58
4.2.3. Kondisi Visual Tanaman	61
4.3. Analisa Hasil dan Pembahasan	62
4.3.1. Volume Lalu Lintas selama 24 Jam	62
4.3.2. Emisi Lalu Lintas	63
4.3.3. Evaluasi Model Dispersi NO <sub>2</sub> dan CO pada Ruas Jl.Prof.Dr.Soepomo	64
4.3.4. Tingkat Pengurangan Konsentrasi NO <sub>2</sub> dan CO.	68

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan	72
5.2. Saran	73

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Mekanisme Pemaparan Kontaminan di udara	9
Gambar.2.2.	Siklus nitrogen monoksida - Ozon	14
Gambar 2.3	Neraca Massa	17
Gambar 2.4	Koefisien difusi $\sigma_z$ dan $\sigma_y$	24
Gambar 2.5	Perubahan profil kecepatan angin terhadap ketinggian (stabilitas)	26
Gambar 2.6	Sistematika Pencemaran Udara dan pengaruhnya terhadap vegetasi	32
Gambar.2.7	Faktor-faktor yang mempengaruhi penyerapan polutan oleh tanaman	34
Gambar 2.8	Proses Pencucian endapan partikel yang berada di atas permukaan daun.	35
Gambar 2.9	Diagram interaksi antara molekul gas polutan dengan daun	37
Gambar 2.10	Hasil Scanning Stomata Daun dengan Skala 10 $\mu\text{m}$ .	38
Gambar 2.11	Siklus Nitrogen	39
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian	44
Gambar 3.2	Pengamatan Visual Tanaman	48
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian	50
Gambar 4.1	Lokasi ruas Jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta	52
Gambar 4.2	Kondisi lingkungan sekitar ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta	52
Gambar 4.3	Kondisi tanaman jalan serta tidak adanya tanaman pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta.	55
Gambar 4.4	Volume kendaraan penumpang pada Jl.Prof.Dr.Soepomo Jakarta	56

Gambar 4.5	Volume kendaraan Bus pada Jl.Prof.Dr.Soepomo Jakarta	56
Gambar 4.6	Volume kendaraan Truk pada Jl.Prof.Dr.Soepomo Jakarta	57
Gambar 4.7	Volume Sepeda Motor pada Jl.Prof.Dr.Soepomo Jakarta	57
Gambar.4.8	Lokasi Titik Pengamatan	59
Gambar 4.9	Korelasi antara Volume rendah kendaraan dengan perubahan konsentrasi NO <sub>2</sub> pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo.	69
Gambar 4.10	Korelasi antara Volume kendaraan dengan perubahan konsentrasi CO pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo.	70

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Gambaran Teknis Sistem Jaringan Jalan	7
Tabel 2.2	Kosentrasi CO di Udara, Hubungannya dengan Konsentrasi Hb dalam Darah	16
Tabel 2.3	Tanda Gejala Pada Berbagai Konsentrasi HbCO dalam Darah	16
Tabel 2.5	Harga $p$ untuk persamaan profil kecepatan angin power law.	26
Tabel 2. 6	Kestabilan Atmosfir (Pasquil -- Gifford)	28
Tabel.2.7	Faktor Konversi untuk Volume Kendaraan	30
Tabel 2.8	Konsentrasi emisi gas buang berdasarkan moda pengoperasian	31
Tabel.2.9	Hubungan antara konsentrasi Gas pada kondisi Udara Bersih dan Tercemar	33
Tabel. 2.10	Kemampuan Ekosistem Hutan Global dan Amerika dalam menyerap Polutan NOx dan CO dari udara setiap tahun	41
Tabel.2.11	Laju Penjerapan Polutan oleh tanaman Alfa dan daya larut	42
Tabel 3.1	Data Sekunder yang akan digunakan dalam penelitian	45
Tabel 4.1	Batas wilayah ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta.	53
Tabel 4.2	Kondisi Jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta	54
Tabel 4.3	Data Volume dan Komposisi Kendaraan Jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta	55
Tabel.4.4	Konsentrasi NO <sub>2</sub> rata-rata, Maksimum dan Minimum Jl.Prof.Dr.Soepomo	60
Tabel.4.5	Konsentrasi CO rata-rata, Maksimum dan Minimum Jl.Prof.Dr.Soepomo Jakarta	61
Tabel 4.6	Kondisi visual Tanaman di ruas Jalan Soepomo Jakarta	62
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Volume Lalu Lintas (pcu/jam) jalan Prof.Dr.Soepomo.	63

Tabel 4.8	Emisi NO <sub>2</sub> dan CO pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta	64
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Konsentrasi NO <sub>2</sub> di ruas I.Prof.Dr.Soepomo Jakarta	66
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Konsentrasi CO di ruas Jl.Prof.Dr.Soepomo Jakarta	66
Table 4.11	Perbandingan Konsentrasi NO <sub>2</sub> 24 jam Hasil Perhitungan dan Pengukuran	67
Table 4.12	Perbandingan Konsentrasi CO 24 jam Hasil Perhitungan dan Pengukuran	67

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Pencemaran udara adalah menurunnya kualitas udara sehingga salah satu akibatnya akan mempengaruhi kesehatan manusia yang menghirupnya. Salah satu faktor penyebab meningkatnya pencemaran udara adalah semakin meningkatnya populasi penduduk di suatu tempat, terutama di kota-kota besar. Kegiatan transportasi, industri dan aktivitas penduduk menjadi sumber pencemaran udara.

Sumber pencemaran udara bisa berasal dari sumber tidak bergerak, antara lain industri, pemukiman/rumah tangga dan pembakaran sampah. Sumber pencemaran udara dari sumber bergerak, adalah dari kegiatan transportasi. Disamping itu, kebakaran hutan dan lahan juga menjadi salah satu penyebab pencemaran udara di Indonesia. Bahkan kebakaran hutan dan lahan mengganggu kestabilan komposisi gas di atmosfer. Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara mengatur bahan pencemar yang perlu dipantau yaitu Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), Karbon monoksida (CO), Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ), partikulat berukuran kurang dari 10 mikron ( $\text{PM}_{10}$ ) dan timah hitam (Pb).

Kegiatan transportasi memberikan kontribusi sekitar 70% terhadap pencemaran udara di kota-kota besar. Di Jakarta dan sekitarnya (Jabotabek) jumlah kendaraan bermotor tahun 2000 menurut Polda Metro Jaya-POLRI mencapai 4.159.442 unit yang didominasi oleh jenis kendaraan mobil penumpang. Di Bandung jumlah kendaraan bermotor untuk tahun 2000 mencapai 588.640 unit. Jumlah kendaraan tersebut belum termasuk kendaraan yang datang ke Bandung pada setiap akhir pekan sebanyak 10 - 25%. Kendaraan bermotor

yang beroperasi di Indonesia sampai akhir tahun 2001 berjumlah 20,78 juta unit yang terdiri dari 3,1 juta unit mobil penumpang (15%), 684 ribu unit bis (3%), 1,75 juta unit truk (9%) dan 15,2 juta unit sepeda motor (73%). Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor yang cukup berarti dari tahun ke tahun mengakibatkan terjadi penurunan kualitas udara ambien yang diakibatkan gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor tersebut.

Walaupun jumlah kendaraan bermotor setiap tahun selalu bertambah namun panjang jalan baik jalan negara, propinsi maupun kabupaten relatif tidak berubah. Hal inilah yang menjadi penyebab terjadinya kemacetan di jalan raya yang juga menambah parahnya pencemaran udara setempat.

Faktor yang mempengaruhi tingginya pencemaran udara dari kendaraan bermotor adalah pesatnya pertambahan jumlah kendaraan bermotor, rendahnya kualitas bahan bakar minyak (BBM) dan masih digunakannya jenis bahan bakar minyak mengandung Pb, penggunaan teknologi lama (sistem pembakaran) pada sebagian besar kendaraan bermotor di Indonesia dan minimnya budaya perawatan kendaraan secara teratur. Kondisi tersebut ditambah oleh buruknya manajemen lalu lintas yang berakibat inefisiensi dalam pemakaian BBM. Bahan bakar kendaraan bermotor di Indonesia didominasi oleh premium dan solar. Bahan bakar premium sebagian besar belum ramah lingkungan karena masih menggunakan Pb sebagai peningkat angka oktan yang menjadi penyumbang terbesar pencemaran di udara.

Sektor transportasi berupa kendaraan bermotor merupakan kontributor terbesar terhadap polusi udara yaitu sebanyak 44% partikel, 89% Hidrokarbon (HC), 73% Nitrogen oksida (NO<sub>2</sub>) dan 100% timah hitam (Pb)

Mengingat jumlah kendaraan bermotor yang terus meningkat setiap tahun dan bahaya yang ditimbulkan, pemecahan masalah polusi udara perlu ditangani secara serius dengan menggunakan berbagai metode atau pendekatan yang tersedia. Salah satu cara yang

dapat dipergunakan untuk menanggulangi bahaya dari pencemaran udara ini adalah penghijauan. Sejalan dengan pendapat Helman (1999) yang menyatakan bahwa salah satu cara untuk mengatasi pencemaran udara adalah dengan memperbanyak hutan dan pepohonan dikota. Penghijauan terhadap lingkungan mempunyai fungsi protektif yaitu menyaring udara kotor pada zona padat dikota, baik karena asap mobil, maupun industri, sedangkan penghijauan disepanjang jalan berguna untuk perlindungan terhadap udara dari gas buangan kendaraan bermotor. Oleh karena itu, penggunaan tanaman atau tumbuhan hijau selain dapat menyerap energi panas, juga dapat berfungsi sebagai penyerap materi dari lingkungan melalui penyerapan polutan sehingga dapat mengurangi polusi udara. Jalur hijau di sepanjang jalan selain memberikan aspek estetik juga dapat meningkatkan kualitas lingkungan. Tetapi keberadaan jalur hijau jalan pada saat ini di Indonesia khususnya di perkotaan, menunjukkan kearah penurunan. Hal ini seiring dengan meningkatkan pembangunan fisik di perkotaan seperti perkantoran, pemukiman, perdagangan serta kegiatan industrialisasi lainnya dan kegiatan transportasi.

## **1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah**

Pertumbuhan penduduk dan peningkatan kepemilikan kendaraan pribadi untuk menunjang aktifitasnya tidak dapat dipisahkan bagi penduduk kota-kota berkembang yang mengakibatkan jumlah kendaraan pribadi menduduki rangking pertama terbanyak dalam antrian kemacetan lalu lintas di jalan. Mengingat jumlah kendaraan bermotor yang terus meningkat setiap tahun dan bahaya yang ditimbulkan, pemecahan masalah polusi udara perlu ditangani secara serius dengan menggunakan berbagai metode atau pendekatan yang tersedia. Salah satu cara yang dapat dipergunakan untuk menanggulangi bahaya dari pencemaran udara ini adalah penghijauan, akan tetapi keberadaan jalur hijau jalan

khususnya tanaman jalan pada saat ini khususnya diperkotaan menunjukkan kearah penurunan.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan :

1. Pertambahan jumlah kendaraan di kota Jakarta menyebabkan tingkat kerapatan lalu lintas di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta semakin meningkat yang mengakibatkan peningkatan konsentrasi pencemar dilokasi tersebut.
2. Belum ada model prediksi pencemaran udara khususnya di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta.
3. Belum mengetahui besarnya pengaruh terhadap keberadaan tanaman pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk:

- a Memprediksi laju emisi Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Karbon monoksida di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta berdasarkan tingkat kerapatan kendaraan secara kontinu dalam 24 jam.
- b Mengevaluasi penyebaran konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan CO yang ditimbulkan oleh aktivitas kendaraan bermotor pada lokasi pengamatan
- c Mengidentifikasi konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan CO terkait dengan keberadaan tanaman di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta.

### **1.4 Kegunaan Penelitian**

Hasil dari penelitian ini kiranya dapat dijadikan sebagai bahan masukan dalam rangka perbaikan lingkungan khususnya pencemaran udara akibat peningkatan kendaraan bermotor serta untuk menunjang usaha pengembangan penanaman tanaman jalan

khususnya di perkotaan sehingga dapat diwujudkan lingkungan jalan yang aman (dari polusi udara) dan nyaman bagi pemakai jalan

Sebagai langkah terakhir dalam penelitian ini, semua hasil yang didapat dituangkan dalam bentuk laporan tertulis dengan sistematikan di bawah ini:

## **BAB I. Pendahuluan**

Mencakup latar Belakang, identifikasi dan perumusan masalah, tujuan, sasaran dan kegunaan penelitian

## **BAB II. Tinjauan Pustaka**

Membahas mengenai pustaka yang berhubungan dengan penelitian ini yaitu pengaruh tanaman jalan terhadap pencemaran udara yang di timbulkan akibat emisi kendaraan bermotor.

## **BAB III. Metode Penelitian**

Menjelaskan tentang rancangan penelitian, ruang lingkup penelitian, lokasi penelitian, variabel penelitian, teknis analisis data dan jadwal penelitian

## **BAB IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan**

Sebelumnya menjelaskan gambaran lokasi penelitian, menampilkan hasil data pengukuran dan pengolahan data serta pembahasan hasil pengolahan data.

## **BAB V. Kesimpulan dan Saran**

Menyimpulkan hasil keseluruhan penelitian serta saran- saran untuk pembaca serta penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Klasifikasi Jalan

Menurut UU No.13 tahun 1980 tentang Jalan, Jalan adalah suatu prasarana perhubungan darat dalam bentuk apapun, meliputi segala bagian jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya. Fungsi Jalan di klasifikasikan sebagai berikut:

- i) Jalan Arteri Primer yaitu ruas jalan yang menghubungkan kota jenjang kesatu yang terletak berdampingan atau menghubungkan kota jenjang kesatu dengan kota jenjang kedua.
- ii) Jalan Kolektor Primer yaitu ruas jalan yang menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang kedua atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang ketiga.
- iii) Jalan Lokal Primer yaitu ruas jalan yang menghubungkan kota jenjang kesatu dengan persil atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan persil atau menghubungkan kota jenjang ketiga dengan kota jenjang ketiga, kota jenjang ketiga dengan kota jenjang dibawahnya, kota jenjang ketiga dengan persil, atau kota di bawah jenjang ketiga sampai Persil.

Sistem jaringan jalan sekunder diatur mengikuti pengaturan tata ruang kota yang menghubungkan kawasan-kawasan yang mempunyai fungsi primer, fungsi sekunder kesatu, kedua, ketiga dan seterusnya sampai ke perumahan.

Sistem jaringan jalan sekunder dibagi dalam:

1. Jalan Arteri Sekunder, yaitu ruas jalan yang menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder kesatu, atau menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kedua.
2. Jalan Kolektor sekunder, yaitu ruas jalan yang menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder kedua atau menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ketiga
3. Jalan Lokal sekunder, yaitu ruas jalan yang menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan perumahan, menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan perumahan, kawasan sekunder ketiga dan seterusnya sampai perumahan.

Klasifikasi jalan menurut fungsinya yaitu arteri, kolektor dan lokal memiliki spesifikasi dimensi penampang melintang minimum yang sesuai dengan standar yang ditetapkan.

**Tabel 2.1 Gambaran Teknis Sistem Jaringan Jalan**

Sistem	Faktor	Arteri	Sekunder	Lokal
Primer	Jarak Perjalanan	Jauh	Sedang	Dekat
	Kecepatan (km/jam)	$\geq 65$ km/jam	$\geq 40$ km/jam	$\geq 20$ km/jam
	Lebar Badan Jalan	$> 8$ m	$> 7$ m	$> 6$ m
	Jumlah Jalan masuk	dibatasi secara efisien	dibatasi	tidak dibatasi
Sekunder	Kecepatan	$\geq 30$ km/jam	$\geq 20$ km/jam	$\geq 10$ km/jam
	Lebar badan jalan	$> 8$ m	$> 7$ m	$> 5$ m
	Lalu lintas	tidak terganggu lalu lintas lambat		

Sumber: UU No.13 Th 1980 dan PP No.26 th.1985

## 2.2 Pencemaran Udara

Udara merupakan campuran beberapa gas yang perbandingannya tidak tetap, tergantung pada keadaan suhu udara, tekanan udara dan keadaan lingkungan sekitarnya. Udara adalah atmosfer yang berada disekeliling bumi yang fungsinya sangat penting bagi kehidupan di dunia ini. Udara bersih merupakan gas yang tidak tampak, tidak berbau, tidak berwarna maupun berasa. Akan tetapi udara bersih sulit diperoleh, terutama dikota besar yang padat industri dan pada lalu lintas. Udara yang mengandung zat pencemaran disebut udara tercemar. Udara tercemar akan merusak lingkungan dan kehidupan manusia. Kerusakan lingkungan berarti berkurangnya daya dukung alam terhadap kehidupan yang selanjutnya akan mengurangi kualitas hidup manusia secara keseluruhan (Fardiaz,1992).

Pencemaran udara menurut Wardhana (1995). adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan tatau komponen lain ke udara dan atau berubahnya tatanan udara oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga kualitas udara turun sampai ketinggian tertentu yang menyebabkan udara menjadi kurang atau tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Pencemaran udara adalah hadirnya kontaminan diruang terbuka dengan konsentrasi dan durasi sedemikian rupa sehingga mengakibatkan gangguan, merugikan atau berpotensi merugikan kesehatan/kehidupan manusia, hewan, tumbuhan, benda-benda, dan mempengaruhi kenyamanan (Purnomohadi, 1995) Nebel & Wright (1993) menyatakan, pencemaran udara adalah senyawa-senyawa di atmosfer yang mempunyai pengaruh bahaya.

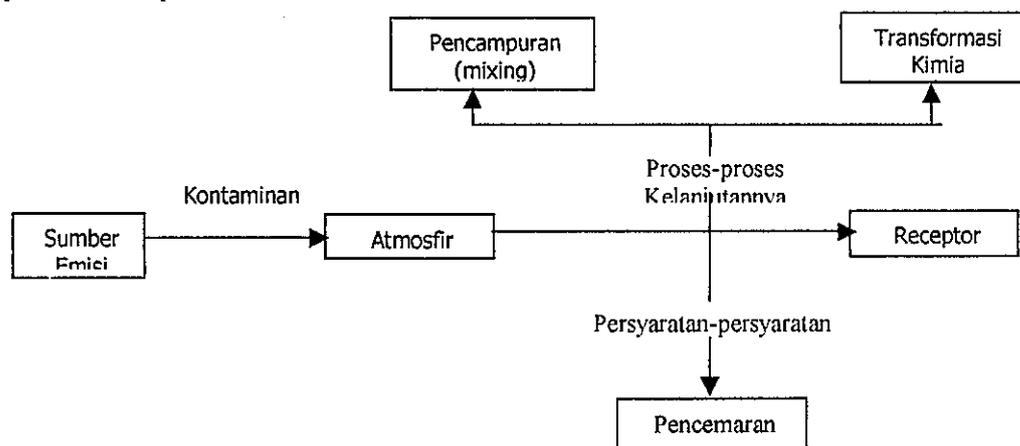
Ditinjau dari sifat sumber pencemar udara, terdapat 3 jenis yaitu :

1. Sumber titik (*point source*), yaitu sumber pencemar yang berasal dari sumber stasioner, tunggal dan dapat diidentifikasi keberadaannya. Misalnya Emisi gas dari cerobong asap pabrik.

2. Sumber kawasan (*area source*), yaitu sumber pencemar yang berasal dari beberapa sumber titik yang berdekatan atau berasal dari sumber bergerak (*mobile source*) pada daerah tertentu. Misalnya pencemaran udara akibat kepadatan arus lalu lintas.
3. Sumber garis (*line source*), yaitu sumber pencemar yang berasal dari emisi yang berbentuk garis. Misalnya pencemaran udara dan kebisingan pesawat terbang pada bandar udara pada saat take off dan landing.

Atmosfir yang mengelilingi bumi merupakan suatu campuran gas dan zat padat yang tersuspensi (*suspended solid*) dimana dengan semakin tinggi, kepadatannya secara bertahap akan berkurang dan hilang pada ruang hampa udara yang berjarak ratusan kilometer dari permukaan bumi. Pada dasarnya kehadiran polutan di udara umumnya berasal dari aktivitas manusia, jarang terjadi secara alamiah. Pada gambar 2.1. pemaparan polutan ke udara, dimana terdapat tiga komponen utama yang saling berinteraksi dan menentukan kelanjutannya untuk memenuhi kriteria sebagai pencemar atau tidak.

Ketiga komponen utama tersebut adalah *Sumber Emisi, Atmosfir, Receptor*. Proses kelanjutannya di udara tergantung pada jenis kontaminan yang di bebaskan. Sebaliknya bila kontaminan yang ada di udara telah cukup memenuhi persyaratan (kuantitas, lamanya berlangsung maupun potensialnya) maka kontaminan tersebut baru dapat disebut sebagai polutan atau pencemar.



**Gambar 2.1. Mekanisme Pemaparan Kontaminan di udara**  
 Sumber: NAS (1997)

Udara di alam tidak pernah ditemukan bersih tanpa polutan sama sekali . Polutan yang mencakup 90% dari jumlah polutan udara seluruhnya, dapat dibedakan menjadi lima kelompok sebagai berikut (Wardhana 1995): Karbon monoksida (CO), Nitrogen oksida (NO), Hidrokarbon (HC), Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan Partikel.

Fardiaz (1992) menyatakan bahwa sumber pencemaran udara yang utama berasal dari transportasi/kendaraan bermotor. Sumber-sumber pencemaran lainnya berasal dari pembakaran, proses industri, pembuangan limbah dan lain-lain. Pencemaran udara di Indonesia, terutama di kota-kota besar, disebabkan gas buang kendaraan bermotor (60-70%); industri (10-15%) dan sisanya berasal dari rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan/ladang dan lain-lain (Kusnoputranto, 1996). Di DKI Jakarta pada tahun 1994 ditemukan bahwa kendaraan bermotor menghasilkan 85% dari seluruh pencemaran udara yang terjadi.

Kendaraan bermotor merupakan penghasil pencemar CO, Hidrokarbon yang tidak terbakar sempurna, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> dan partikel. Data Biro Bina Lingkungan Hidup (BBLH) DKI Jakarta tahun 1995 menyatakan jenis pencemar ini memberikan saham sebesar 90% pada pencemaran udara (BBLH, 1995). Watkins (1991) menyatakan emisi NO<sub>x</sub> pada kendaraan dengan bahan bakar solar (diesel) 2-3 kali < bensin, sedangkan emisi SO<sub>2</sub> pada solar bisa mencapai 10 kali > bensin. Lebih lanjut diungkapkan, emisi NO<sub>x</sub> tinggi terjadi pada kecepatan kendaraan sangat rendah (10 km/jam) dan pada kecepatan sangat tinggi (mulai meningkat dari 100 km/jam sampai 150 km/jam).

Menurut Kusnoputranto (1996), pengaruh zat pencemar udara dapat dikelompokkan menurut urutan berikut:

1. Gangguan kenyamanan dan estetika: bau, gangguan visibilitas atmosfer, perubahan warna bangunan dan monumen.
2. Kerusakan harta benda: tumbuhnya karat dalam logam kotor pada pakaian, bangunan dan monumen.
3. Kerusakan pada tumbuh-tumbuhan dan binatang: menimbulkan kerusakan daun, menurunkan hasil tanaman, menurunkan tingkat fotosintesis; memberikan pengaruh yang berbahaya pada sistem saluran pernafasan dan syaraf pusat dari binatang.
4. Gangguan pada kesehatan manusia: kekurangan oksigen dalam darah, kerusakan dan rangsangan sistem pernafasan, iritasi suara dan kanker.
5. Kerusakan sistem reproduksi dan genetik manusia: sebagian besar belum diketahui, namun mungkin saja terjadi.
6. Kerusakan ekosistem: perubahan iklim setempat atau regional dan mungkin iklim global.

Partikulat atau Gas polutan yang dilepaskan langsung ke troposfir dalam jumlah besar, baik dari proses alamiah atau manusia disebut Polutan Primer. Partikulat atau gas polutan yang dilepaskan dari sumber baik dari proses alamiah atau manusia dan terbentuk di udara disebut polutan Sekunder

Jenis Pencemar Udara Primer digolongkan dalam 5 (lima) kelompok berikut:

- Karbonmonoksida (CO)
- Nitrogen oksida (NO<sub>2</sub>)
- Hidrokarbon (HC)
- Sulfur oksida (Sox)
- Partikel

### 2.3. Nitrogen dioksida

Nitrogen Oksida ( $\text{NO}_x$ ) adalah kelompok gas yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari gas Nitrogen monoksida (NO) dan Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ). Walaupun ada bentuk oksida nitrogen lainnya, tetapi kedua gas tersebut yang paling banyak diketahui sebagai bahan pencemar udara. Nitrogen monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sebaliknya nitrogen dioksida berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam.

Nitrogen monoksida terdapat di udara dalam jumlah lebih besar daripada  $\text{NO}_2$ . Pembentukan NO dan  $\text{NO}_2$  merupakan reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara sehingga membentuk NO, yang bereaksi lebih lanjut dengan lebih banyak oksigen membentuk  $\text{NO}_2$ .

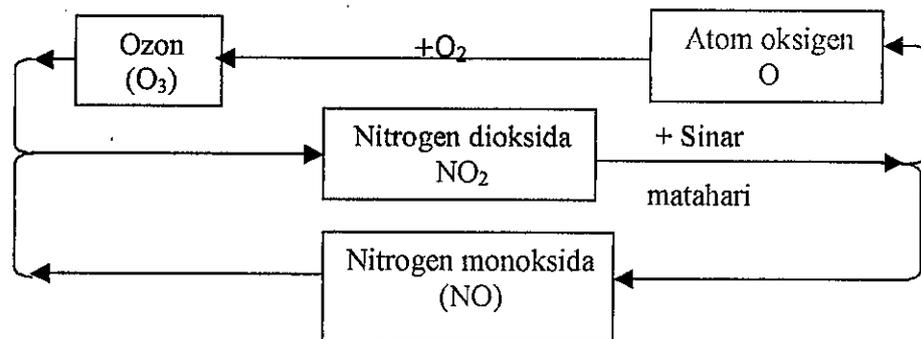
Udara terdiri dari 80% volume nitrogen dan 20% volume oksigen. Pada suhu kamar, hanya sedikit kecenderungan nitrogen dan oksigen untuk bereaksi satu sama lainnya. Pada suhu yang lebih tinggi (diatas  $1210^\circ\text{C}$ ) keduanya dapat bereaksi membentuk NO dalam jumlah banyak sehingga mengakibatkan pencemaran udara. Dalam proses pembakaran, suhu yang digunakan biasanya mencapai  $1210 - 1765^\circ\text{C}$ , oleh karena itu reaksi ini merupakan sumber NO yang penting. Jadi reaksi pembentukan NO merupakan hasil samping dalam proses pembakaran.

Kadar  $\text{NO}_x$  di udara perkotaan biasanya 10 – 100 kali lebih tinggi dari pada di udara pedesaan. Kadar  $\text{NO}_x$  di udara daerah perkotaan dapat mencapai 0,5 ppm (500 ppb). Seperti halnya CO, emisi  $\text{NO}_x$  dipengaruhi oleh kepadatan penduduk karena sumber utama  $\text{NO}_x$  yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran, dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan bermotor, produksi energi dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi  $\text{NO}_x$  yang dibuat manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas dan bensin.

Kadar NO<sub>x</sub> di udara dalam suatu kota bervariasi sepanjang hari tergantung dari sinar matahari dan aktivitas kendaraan bermotor. Perubahan kadar NO<sub>x</sub> berlangsung sebagai berikut

- a. sebelum matahari terbit, kadar NO dan NO<sub>2</sub> tetap stabil dengan kadar sedikit lebih tinggi dari kadar minimum sehari-hari.
- b. Setelah aktifitas manusia meningkat (jam 6 – 8 pagi) kadar NO meningkat terutama karena meningkatnya aktivitas lalu lintas yaitu kendaraan bermotor. Kadar NO tertinggi pada saat ini dapat mencapai 1 – 2 ppm.
- c. Dengan terbitnya sinar matahari yang memancarkan sinar ultra violet, kadar NO<sub>2</sub> meningkat karena perubahan NO (primer) menjadi NO<sub>2</sub> (sekunder). Kadar NO<sub>2</sub> pada saat ini dapat mencapai 0,5 ppm.
- d. Kadar ozon meningkat dengan menurunnya kadar NO sampai dari 0,1 ppm.
- e. Jika intensitas sinar matahari menurun pada sore hari (jam 5 – 8 sore) kadar NO meningkat kembali.
- f. Energi matahari tidak tersedia untuk mengubah NO menjadi NO<sub>2</sub> (melalui reaksi hidrokarbon), tetapi O<sub>3</sub> yang terkumpul sepanjang hari akan bereaksi dengan NO. Akibatnya terjadi kenaikan kadar NO<sub>2</sub> dan penurunan kadar O<sub>3</sub>. Siklus NO<sub>2</sub> melibatkan tiga reaksi sebagai berikut:

- $\text{NO}_2 + \text{sinar matahari} \rightarrow \text{NO} + \text{O}$
- $\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$
- $\text{O}_3 + \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$



**Gambar.2.2. Siklus nitrogen monoksida - Ozon**

Dampak Nitrogen oksigen terhadap kesehatan adalah melemahkan system pertahanan tubuh, sehingga virus influenza lebih gampang menyerang, menyebabkan paru-paru teriritasi sehingga muncul oedema, bronchitis dan pneumonia. Para pengidap asma juga menjadi lebih sensitive terhadap debu dan serbuk tanaman. Makin besar dampaknya bila bersama-sam polutan lain.

#### 2.4. Karbon monoksida

Karbon dan oksigen dapat bergantung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai hasil pembakaran yang sempurna. karbon monoksida merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu kondisi normal berbentuk gas yang tidak berwarna. Tidak seperti senyawa lain CO mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen darah yaitu haemoglobin.

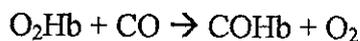
Karbon monoksida dilingkungan dapat berbentuk secara alamiah, tetapi sumber utamanya adalah dari kegiatan manusia. Karbon monoksida yang berasal dari alam termasuk dari lautan, oksidasi metal di atmosfer, penguangan, kebakaran hutan dan badai listrik alam. Sampai saat ini masih belum dipastikan jumlah CO yang dihasilkan oleh sumber alam secara global.

Sumber CO buatan antara lain kendaraan bermotor, terutama yang menggunakan bahan bakar bensin. Berdasarkan emisi, jumlah CO dari sumber buatan diperkirakan mendekati 60 juta ton per tahun. Separuh dari jumlah ini berasal dari kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar bensin dan sepertiganya berasal dari sumber stasioner seperti pembakaran batubara dan minyak dari industri dan pembakaran sampah domestik. Di dalam laporan WHO (1992) dinyatakan paling tidak 90% dari CO di udara perkotaan berasal dari emisi kendaraan bermotor. Selain itu asap rokok juga mengandung CO, sehingga para perokok dapat memajan dirinya sendiri dari asap rokok yang sedang dihisapnya.

Sumber CO dari dalam ruang (indoor) termasuk dari tungku dapur rumah tangga dan tungku pemanas ruang. Dalam beberapa penelitian, ditemukan kadar CO yang cukup tinggi didalam kendaraan sedan maupun bus.

Kadar CO diperkotaan cukup bervariasi tergantung dari kepadatan kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar bensin dan umumnya ditemukan kadar maksimum CO yang bersamaan dengan jam-jam sibuk pada pagi dan malam hari. Selain cuaca, variasi dari kadar CO juga dipengaruhi oleh topografi jalan dan bangunan disekitarnya, selain cuaca. Pemajanan CO dari udara ambien dapat direfleksikan dalam bentuk kadar karboksi haemoglobin (HbCO) dalam darah yang terjadi dengan sangat perlahan, karena butuh waktu 4 – 12 jam untuk tercapainya keseimbangan antara kadar CO diudara dan HbCO dalam darah. Oleh karena itu kadar CO didalam lingkungan, cenderung dinyatakan dalam rata-rata setiap 8 jam pengukuran sepanjang hari (moving 8 - hour average concentration,) lebih baik dibandingkan dari data CO yang dinyatakan dalam rata-rata dari 3 kali pengukuran pada periode waktu 8 jam yang berbeda dalam sehari. Perhitungan tersebut akan lebih mendekati gambaran dari respons tubuh manusia terhadap keracunan CO di udara.

Molekul CO dapat menggantikan O<sub>2</sub> dalam haemoglobin untuk menghasilkan karboksilhaemoglobin dengan reaksi sebagai berikut :



**Tabel 2.2** Kosentrasi CO di Udara, Hubungannya dengan Kosentrasi Hb dalam Darah

Konsentrasi CO (gr/lit) Di atmosfer (ppm)	Keseimbangan HbCO dalam darah (%)	HbCO di dalam darah setelah paparan 30 menit (%)		HbCO di dalam darah setelah paparan 60 menit (%)	
30	4.8	0.27	0.99	0.54	1.98
50	8.0	0.45	1.65	0.90	3.30
125	20	1.12	4.12	2.24	8.24
250	40	2.25	8.24	4.50	16.48

Sumber : Watkins. 1991

Tanda dan gejala yang terjadi pada manusia bila darah mengandung HbCO dapat dilihat pada Tabel 2.3

**Tabel 2.3** Tanda Gejala Pada Berbagai Kosentrasi HbCO dalam Darah

% HbCO	Tanda dan Gejala pada Manusia
0 – 10	Tidak ada tanda atau gejala
10 – 20	Pusing ringan, terjadi dilatasi pada darah
20 – 30	Pusing
30 – 40	Pusing Berat, Badan lemah, tidak konsentrasi, pingsan
40 – 50	Sama dengan diatas, kemungkinan pingsan lebih besar, kecepatan pernafasan meningkat
50 – 60	Sinkop, kecepatan pernafasan meningkat
60 – 70	Koma, kegiatan jantung dan kecepatan pernafasan menurun, ada kemungkinan meninggal
70 – 80	Pernafasan lambat, hembusan nafas lemah, gagal bernafas dan meninggal dalam beberapa jam
80 – 90	Meninggal kurang dari 1 jam
90 +	Meninggal dalam beberapa menit.

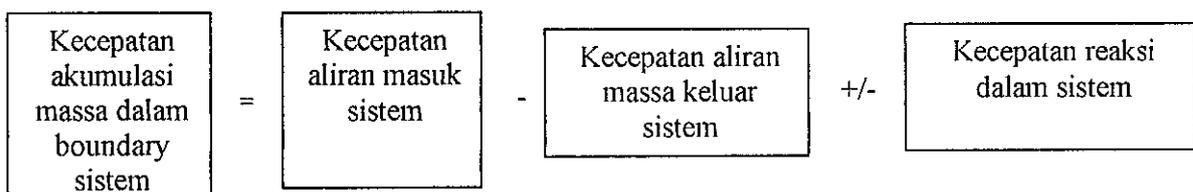
Sumber : Watkins. 1991

Adanya muatan CO di udara berakibat penurunan kapasitas darah untuk mengikat oksigen. Kadar COHb dalam darah naik jika CO naik dan aktivitas fisik naik. Pemaparan yang berlebih sejumlah CO pada manusia dapat mengakibatkan pengrusakan penglihatan dan kesadaran, fungsi sistem kontrol syaraf turun serta fungsi jantung dan paru-paru menurun (perubahan kardiovaskular), bahkan pada konsentrasi yang ekstrim dapat menyebabkan kematian.

Tanah merupakan bahan yang dapat menghilangkan CO dari atmosfer. Kandungan CO dalam udara dapat dihilangkan dengan mengontakkannya dengan tanah. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa udara yang mengandung CO sebesar 120 ppm dapat dihilangkan selama 3 jam dengan cara mengontakkan dengan 2,8 Kg tanah [Human,1971]. Dari hasil penelitian diperoleh Laju pengambilan CO oleh tanah dan kadar CO awal di atmosfer sangat berkorelasi dengan faktor kemampuan tanah menyerap dan menyerap CO untuk selanjutnya dioksidasi menjadi gas CO<sub>2</sub> dan direduksi menjadi gas CH<sub>4</sub>, dan karbon monoksida dimanfaatkan sebagai sumber karbon dan energi oleh mikroflora tanah [Sumarno,1999].

## 2.5. Proses Perpindahan Zat Pencemar Udara di Atmosfir

Prinsip dasar konservasi massa , perpindahan kontaminan didalam dan diluar volume yang diukur selalu dinyatakan dengan Flux vector massa secara umum:Neraca Massa berdasarkan flux massa di udara dinyatakan sebagai berikut:



Gambar 2.3 Neraca Massa

Proses pencemaran gas yang terjadi di udara dapat dilakukan dengan berbagai cara sesuai dengan jangkauan masing-masing sifat gas tersebut. Proses yang terjadi diudara terhadap penyebaran kontaminan dari sumbernya adalah adveksi dan dispersi yang dipengaruhi oleh kecepatan angin, namun juga secara *longitudinal* melalui flux disperse.

Prinsip dasar konservasi massa dalam perpindahan (transfer massa) kontaminan secara umum yaitu:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \frac{\partial J_x}{\partial X} + \frac{\partial J_y}{\partial Y} + \frac{\partial J_z}{\partial Z} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

J = Vektor flux massa dalam arah x,y,z

m = massa kontaminan per unit volume

t = waktu

Pengendalian transport buangan berbahaya yang dilepas dari sumbernya ke atmosfer dilakukan dengan cara adveksi dan dispersi. Adveksi digambarkan dalam kecepatan angin, dan dispersi adalah penyebaran kontaminan yang akan berpengaruh terhadap penurunan gradient. Dalam buangan konsentrasi konsentrasi keudara, faktor kecepatan angin yang besar maka konsentrasi buangan berbahaya akan menurun.

Adveksi dan dispersi adalah flux ( $\text{mg}/\text{m}^2.\text{sec}$ ) yang disebut sebagai Flux Massa Total. Flux adveksi dinyatakan dalam pergerakan bagian terbesar atau sering dipertimbangkan sebagai pergerakan rata-rata dari transportasi udara melalui persamaan:

$$J = J_{\text{ADV}} + J_{\text{DISP}} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$J_{\text{ADV}} = \bar{u} \cdot C \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

$J_{ADV}$  = Flux adveksi ( $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{det}$ )

$\bar{U}$  = Kecepatan angin rata-rata ( $\text{mg}/\text{det}$ )

$C$  = Konsentrasi Kontaminan ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

Sementara Flux dispersi dalam membandingkan difusi molekul yang dikembangkan dari perbedaan konsentrasi setempat, yaitu perbedaan gerakan kebawah dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Pencampuran kontaminan ini dinyatakan dengan hukum Fick's dimana kecepatan gerak kontaminan melintas pada bidang arah X yaitu:

$$J_{DISP} = -D \frac{\partial C}{\partial x} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

$J_{DISP}$  = Flux dispersi melintas bidang arah x ( $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{det}$ )

$C$  = Konsentrasi Kontaminan ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

$D$  = Koefisien Dispersi ( $\text{m}^2/\text{det}$ )

$X$  = jarak tempuh dispersi kontaminan yang ditinjau (m)

## 2.6. Model Dispersi Kontaminan di Atmosfir

Pelepasan polutan berbahaya di udara diikuti oleh transfer dan dispersi oleh bantuan angin yang akan menyebarkan polutan keseluruh udara. Pelepasan kontaminan ini diklasifikasikan dalam 2 (dua) kategori yang berdasarkan pada sifat buangnya, yaitu:

1. Puff (tiupan) Model Kontaminan, yang diakibatkan oleh pelepasan secara mendadak seperti tumpahan kontaminan dan ledakan.
2. Plume Model Kontaminan, yang diakibatkan oleh pelepasan secara kontinyu dari daerah yang terkontaminasi.

Kontaminan yang keluar dengan penguapan, maka konsentrasi maksimum berada di sumbernya dan kemudian berkurang sebagai akibat dari dispersi plume oleh tiupan angin. Dalam transfer kontaminan di atmosfer yang terdispersi masuk ke atmosfer dan dipengaruhi oleh angin, turbulensi dan sifat Plume.

## 2.7. Model Pencemaran Udara

### 2.7.1. Model Dispersi Menurut Gauss

#### a. Distribusi Gauss

Distribusi Normal atau Distribusi Gauss banyak digunakan sebagai fungsi distribusi dalam konteks pencemaran udara (Wark and Warner, 1981).

Dasar dari distribusi Gauss adalah suatu persamaan yang menyatakan bahwa variable  $x$  dapat terdistribusi normal jika densitas dari fungsi  $f(x)$  memenuhi persamaan berikut ini :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

$\mu$  adalah nilai nyata tertentu

$\sigma$  adalah nilai nyata yang besarnya lebih dari nol dan dikenal sebagai simpangan baku.

Persamaan distribusi Gauss (1) diatas disebut juga sebagai distribusi normal, dimana area dibawah kurva normal terdiri dari nilai-nilai yang homogen. Lancip dan melengkungnya bentuk kurva normal bergantung pada besar kecilnya nilai simpangan baku.

Dalam penerapan untuk dispersi polutan di udara ambien, biasanya digunakan distribusi Gauss berganda (*Double Gaussian Distribution*). Distribusi Gauss berganda ini di plot pada 2 (dua) arah koordinat yaitu  $y$  dan  $z$  sehingga persamaan menjadi

$$f(y,z) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-\mu_z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \dots\dots(2.6)$$

keterangan :

interpretasi terhadap nilai-nilai  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\mu_y$  dan  $\mu_z$  sama dengan interpretasi untuk persamaan distribusi tunggal.

### b. Model Dispersi Gauss Untuk Sumber Diam

Model matematis untuk dispersi di atmosfer harus mampu membuat simulasi perilaku plume yang diemisikan baik dari sumber pada permukaan tanah ataupun dari sumber cerobong. Tinggi cerobong (H) dinyatakan sebagai tinggi fisik cerobong (h) ditambah dengan tinggi kenaikan plume ( $\Delta h$ ).

Model tersebut berdasarkan pada difusi massa dari polutan pada arah y dan z yang dibawa oleh angin arah x dengan kecepatan u, model tersebut memerlukan beberapa asumsi yang diantaranya adalah difusi masa arah x yang tunak, kecepatan angin u yang konstan pada semua posisi, dan difusivitas yang konstan dari massa  $D_x$ ,  $D_y$ , dan  $D_z$ . Untuk sumber titik, direpresentasikan sebagai  $x=0$ , dan tinggi sebagai H dengan demikian, konsentrasi sesuai arah angin dari suatu sumber titik adalah mengikuti formula :

$$C = Kx^{-1} \exp\left[-\left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z}\right) \frac{u}{4x}\right] \dots\dots\dots(2.7)$$

keterangan :

K adalah konstanta yang nilainya ditentukan oleh kondisi spesifik atmosfer setempat.

Untuk sumber titik pada ground level nilai K dapat dihitung sebagai berikut :

$$K = \frac{Q}{2\pi(D_y D_z)^{1/2}} \dots\dots\dots(2.8)$$

keterangan :

Q adalah kekuatan dari sumber emisi, yaitu massa yang diemisikan per satuan waktu. Dengan substitusi persamaan (2.5) ke persamaan (2.4), maka model dispersi dari sumber titik pada ground level adalah :

$$C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2\pi(D_y D_z)^{1/2}} \exp\left[-\left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z}\right) \frac{u}{4x}\right] \dots\dots\dots(2.9)$$

Persamaan (2.6) adalah persamaan distribusi Gauss ganda seperti persamaan (2.3). Karena pada ground level, konsentrasi maksimum pada arah y dan z akan muncul sepanjang center line pada ground level, maka nilai  $\mu_y$  dan  $\mu_z$  pada persamaan (2.9) nilainya nol. Dengan demikian persamaan (2.9) menjadi :

$$f(y,z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right] \dots\dots\dots(2.10)$$

jika :

$$\sigma_y^2 = \frac{2D_y x}{u} \text{ dan } \sigma_z^2 = \frac{2D_z x}{u} \text{ maka konsentrasi polutan pada ground level dari suatu}$$

sumber titik adalah :

$$C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right] \dots\dots\dots(2.11)$$

keterangan:

$C_{(x,y,z)}$  = konsentrasi polutan pada titik x, y, z yang ditinjau ( $g/m^3$ )

Q = laju emisi yang dikeluarkan sumber emisi (g/det)

$\sigma_y$  = koefisien Gauss untuk dispersi lateral arah y (m)

$\sigma_z$  = koefisien Gauss untuk dispersi lateral arah z (m)

### c. Model Dispersi Gauss untuk Sumber Garis

Sumber garis (line source) bisa berupa deretan industri di sepanjang pantai atau pinggir sungai, atau juga disepanjang jalan yang dipadati kendaraan (Wark dan Warner, 1981). Permasalahan polusi udara dapat dimodelkan sebagai sumber garis yang terus-menerus (*continuous emitting infinite line source*). Jika sumber yang mengemisikan berbentuk garis (*line source*) seperti jalan raya, maka modifikasi persamaan 2.11 menjadi sebagai berikut:

$$C_{(x,z)} = \frac{2Q/L}{(2\pi)^{1/2} \sigma_z u} \exp\left[-z^2 / 2\sigma_z^2\right] \quad (2.13)$$

keterangan :

Q/L = laju emisi per unit panjang jalan raya (g/det.m)

u = kecepatan angin dalam arah x atau tegak lurus sumbu jalan (m/det)

z = tinggi titik konsentrasi yang ditinjau.

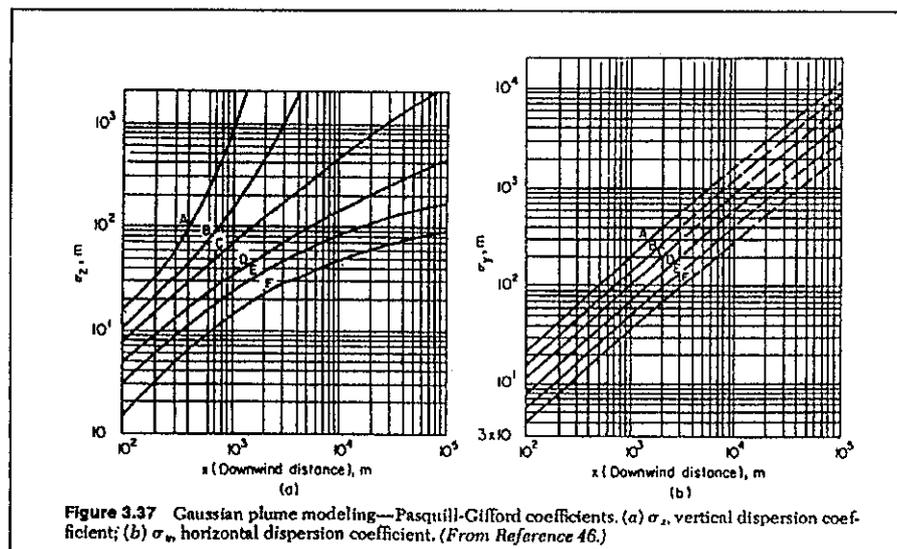
Emisi dari kendaraan di jalan raya dilihat sebagai sumber garis yang uniform dan penyebaran berjalan dalam arah dua dimensi.

Model dispersi Gauss di atas berguna untuk mengestimasi distribusi konsentrasi kualitas udara manakala data-data pengukuran atau monitoring kurang memadai jumlahnya. Kalau pengukuran berguna dalam memberikan informasi konsentrasi pada suatu lokasi tertentu, maka model berguna untuk memprediksi konsentrasi untuk masa yang akan datang atau pada lokasi dimana data pengukuran belum ada. Jadi selain untuk mengestimasi kualitas udara di suatu titik oleh adanya emisi dari sumber tertentu, model juga digunakan untuk memprediksi kualitas udara sebagai dampak suatu proyek yang akan dilaksanakan. Penggunaan model Gauss sangat baik untuk memprediksi kualitas udara pada skala local maupun subregional. Pada kasus dimana sumber-sumber emisi

memberikan dampak pada kualitas udara local maka penggunaan model tersebut adalah sangat bermanfaat.

### Koefisien Difusi Horizontal dan Vertikal

Kurva koefisien difusi  $\sigma_z$  dan  $\sigma_y$ , yang secara luas digunakan oleh divisi Jalan Raya California dan EPA. Gifford menggambarkan hasil dari pasquill untuk memplot kurva  $\sigma_z$  dan  $\sigma_y$ , seperti ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Koefisien difusi  $\sigma_z$  dan  $\sigma_y$

### 2.7.2. Meteorologi Pencemaran Udara

Meteorologi adalah ilmu yang mempelajari kedinamisan atmosfer. Faktor meteorologi yang sangat berperan dalam pencemaran udara adalah angin, temperatur, dan stabilitas atmosfer.

### a. Angin

Angin adalah masa udara yang bergerak secara horizontal maupun vertikal dengan kecepatan yang bervariasi dan berfluktuasi secara dinamis. Pergerakan seluruh udara adalah kombinasi energi matahari, rotasi bumi, dan gravitasi bumi. Sangat sederhana, matahari menghangatkan tanah, dan tanah menghangatkan udara dan seterusnya. Udara hangat naik ke atas dan digantikan oleh udara dingin. Rotasi bumi menambah komplikasi pada kondisi ideal, contoh sirkulasi pergeseran. Pegunungan, lautan dan perkotaan menambah komplikasi lebih jauh, contoh menyebabkan angin lokal/setempat. Dispersi pencemaran udara tidak hanya terjadi karena adanya angin, tetapi ada beberapa faktor lain yang perlu dipahami yang mempengaruhi kualitas udara.

### b. Arah dan Kecepatan Angin

Kecepatan angin pada umumnya meningkat sebanding dengan pertambahan ketinggian. Terdapat beberapa variasi ekspresi analisis profil kecepatan angin, diantaranya yang biasa digunakan yaitu :

- Profil logaritmik,
- Profil log-linier
- Profil power law  $u = u_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^p$

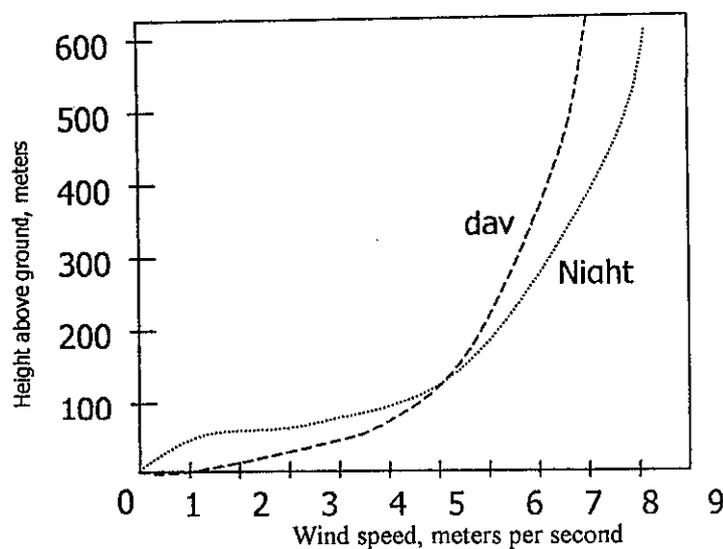
Dua yang pertama didasarkan pada fenomena fisik dan asumsi bahwa terjadi tegangan geser yang konstan terhadap elevasi. Profil power law didapat secara empirik dan sering digunakan dalam studi polusi udara karena dapat mewakili interval yang lebar. Variabel  $u_1$  adalah data terukur dari kecepatan angin pada elevasi  $z_1$ . Harga  $p$  (konstanta) tergantung kepada konfigurasi permukaan area studi dan stabilitas atmosfer di atasnya, seperti terlihat pada tabel 2.3

**Tabel 2.5** Harga  $p$  untuk persamaan profil kecepatan angin power law.

Konfigurasi Permukaan	Stabilitas	$p$
• Daerah terbuka landai <sup>a</sup>	tidak stabil	0.11
	netral	0.14
	stabilitas sedang	0.20
		0.33
• Daerah terbuka datar, danau & lautan <sup>b</sup>	Netral	0.16
• Hutan kayu, kota & kota pinggiran <sup>b</sup>	Netral	0.28
• Kota dan lokasi terbangun <sup>b</sup>	Netral	0.40

Sumber : a. Sutton, 1953

b. Turner -- HEW, 1969



**Gambar 2.5** Perubahan profil kecepatan angin terhadap ketinggian (stabilitas) (HEW, 1969)

Angin menyebabkan perpindahan polutan secara besar-besaran; konsentrasi polutan terlihat jelas lebih tinggi di daerah yang searah dengan angin dari sumber dibandingkan dengan arah berlawanan dari sumber. Oleh karena adanya difusi, konsentrasi menyebar pada satu arah dari garis tengah (arah mendasar dari pergerakan polutan terhadap angin).

Selain arah angin, kecepatan angin merupakan hal penting, semakin tinggi kecepatan angin, pada umumnya konsentrasi polutan semakin rendah (efek pengenceran).

### 2.7.3. Stabilitas Atmosfir

Pancaran sinar matahari merupakan fluks energi dari matahari menuju permukaan bumi. Pancaran bervariasi harian (saat fajar, tengah hari, sore hari, malam hari), musiman (musim dingin, panas), secara geografi (kutub, khtulistiwa), dan pengaruh setempat (berawan, cerah). Semakin tinggi pancaran, maka lebih banyak energi yang mencapai permukaan. Energi tersebut akan diserap oleh tanah dan memanaskan permukaan, kecuali permukaan yang memiliki reflektivitas lebih besar (seperti es atau salju). Selanjutnya, lebih banyak energi panas dapat ditransfer ke dalam lapisan udara yang kontak dengan tanah. Udara panas ini cenderung naik dengan cepat dan dalam kasus ini, atmosfer dalam keadaan "unstable". Dari sudut pandang kualitas udara, udara unstable adalah baik karena membantu menghilangkan polusi udara di sekitar tanah dimana manusia berada dengan menangkap dan membawanya, bercampur di udara bagian lebih atas dan mengencerkan polusi menjadi konsentrasi yang lebih rendah.

Stabilitas atmosfer merupakan metode untuk mengklasifikasikan kemampuan atmosfer untuk mengencerkan dan mencampur udara. Selain pancaran sinar matahari, metoda klasifikasi yang digunakan oleh EPA juga memasukkan kecepatan angin. Efek mekanik angin (pencampuran turbulen dan geseran angin) dapat mendominasi efek pencampuran panas (*thermal mixing effects*)

Tabel 2. 6 Kestabilan Atmosfir (Pasquil – Gifford)

Kecepatan Angin Permukaan <sup>a</sup> (m/dt)	Pancaran Sinar Matahari Siang Hari			Kondisi Awan Malam Hari	
	Kuat <sup>b</sup>	Kuat <sup>c</sup>	Kuat <sup>d</sup>		
<2	A	A - B <sup>f</sup>	B	E	F
2-3	A - B	B	C	E	F
3-5	B	B - C	C	D	E
5-6	C	C - D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Sumber : Turner, 1970

Catatan :

- Kecepatan angin permukaan diukur pada ketinggian 10 m dari tanah
- Kondisi siang hari cerah pada musim panas dengan matahari  $>60^\circ$  diatas horizon
- Kondisi siang hari musim panas dengan sedikit awan atau siang hari cerah dengan matahari  $35^\circ - 36^\circ$  di atas horizon
- Kondisi sore hari atau siang hari berawan musim panas atau siang hari cerah musim panas dengan matahari antara  $150 - 350$
- Kondisi awan didefenisikan sebagai fraksi langit tertutup awan
- Untuk kondisi A-B, B-C, atau C-D rata rata nilai berlaku untuk masing-masing :

A = sangat tidak stabil

D = netral

B = sedang tidak stabil

E = lemah stabil

C = lemah tidak stabil

F = stabil

#### 2.7.4. Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas (n) menunjukkan tingkat kepadatan lalu lintas kendaraan bermotor pada suatu ruas jalan. Volume pada suatu jalan dapat bervariasi dari waktu ke waktu (variasi dari tahun ke tahun, minggu ke minggu atau jam ke jam). Untuk mengetahui

volume lalu lintas dilakukan penghitungan (*counting*) jumlah kendaraan yang melewati suatu titik pos pengamatan pada interval periode waktu tertentu. Periode waktu yang ditetapkan bervariasi, dapat dari 15 menit sampai dengan satu tahun, tergantung dari tujuan penggunaan data volume tersebut. Pada proses penghitungan ini juga diidentifikasi mengenai kecepatan kendaraan, jenis kendaraan yang melintas dan arah pergerakan.

Satuan volume lalu lintas adalah satuan mobil penumpang (*smp/jam*) atau *passenger car unit (pcu/hour)*. Dalam penghitungan (*counting*), karena kendaraan yang lewat terdiri dari bermacam-macam tipe/kategori, sepeda motor (*motorcycle*), kendaraan penumpang (*light vehicle*), kendaraan berat (*heavy vehicle*), maka untuk memperoleh volume lalu lintas dalam satuan *passenger car unit* per satuan waktu dilakukan normalisasi menggunakan persamaan sebagai berikut (Directorate General of Highways, Indonesia Highway Capacity Manual, 1993):

$$n = n_{LV} \times f_{LV} + n_{HV} \times f_{HV} + n_{MC} \times f_{MC} \dots\dots\dots(2.13)$$

keterangan:

$n$  = volume lalu lintas (*pcu/hour*)

$n_{LV}$  = jumlah kendaraan yang per jam untuk jenis kendaraan *Light vehicle*, yaitu kendaraan bermotor roda empat (termasuk *car passenger*, *oplet*, mikro bus, *pick-up* dan mikro truk sesuai dengan sistem klasifikasi Bina Marga

$n_{HV}$  = jumlah kendaraan yang per jam untuk jenis kendaraan *Heavy vehicle*, yaitu kendaraan bermotor roda empat (termasuk bus, truk bergardan dua, truk bergardan tiga dan truk gandeng sesuai dengan sistem klasifikasi Bina Marga

$n_{MC}$  = jumlah kendaraan yang per jam untuk jenis kendaraan *Motor Cycle*, yaitu sepeda motor beroda dua atau tiga sesuai dengan sistem klasifikasi Bina Marga

$f$  adalah faktor konversi dari berbagai jenis kendaraan berkaitan dengan pengaruhnya terhadap pencemaran udara, yang dibandingkan dengan *passenger car*, dimana memiliki nilai sebagai berikut:

**Table.2.7** Faktor Konversi untuk Volume Kendaraan

No.	Jenis Kendaraan	Faktor Konversi (f)	Kapasitas ruang bakar (cc)
1.	Kendaraan Berat (HV)	1.45	>2800
2.	Kendaraan Penumpang	1.00	750 – 2300
3.	Sepeda Motor	0.60	<200

Sumber: IHCM, Ditjen Bina Marga (1993)

### 2.7.5. Pola Berkendara

Pola berkendara dan kecepatan yang konstan akan sangat mempengaruhi pelepasan senyawa senyawa pencemar tersebut. Pola berkendara yang ditandai dengan banyak diam (*idle*) akan mengeluarkan pencemar yang lebih banyak dibandingkan dengan pola berkendara yang berjalan dengan kecepatan stabil (Soedomo, 2001). Emisi gas buang kendaraan bermotor yang lambat (lancar) dibandingkan dengan kondisi jalan macet mempunyai perbedaan 12 kali lipat (Bambang Susantono, Media, 2002). Dalam keadaan ini proses pembakaran yang berlangsung kurang sempurna, sehingga rasio udara megecil. Kebutuhan bahan bakar akan bertambah, namun dalam sistem pembakaran yang kurang sempurna. Akibatnya, kadar pencemar yang keluar akan semakin besar, terutama yang

berasal dari bahan bakar sendiri seperti CO, HC, dan NO<sub>x</sub>. Tingkat konsentrasi emisi gas buang yang dihasilkan melalui proses reaksi pembakaran yang terjadi di dalam mesin kendaraan baik pada mesin diesel maupun bensin dapat dilihat pada tabel 2.5.

**Tabel 2.8** Konsentrasi emisi gas buang berdasarkan moda pengoperasian

Bahan Bakar Dan Polutan	Emisi gas buang (ppm)			
	Idle	Percepatan	Jelajah	Perlambatan
<b>Bensin</b>				
CO	69.000	29.000	29.000	39.000
HC	5.300	1.600	1.600	10.000
NO <sub>x</sub>	30	1.020	1.020	20
<b>Diesel</b>				
CO	Trace	1000	Trace	Trace
HC	400	200	100	300
NO <sub>x</sub>	60	350	240	30

Sumber :Colls, J., 2002.

Pola berkendara perkotaan pada dasarnya ditandai dengan pola diam dan bergerak cukup banyak. Beberapa negara telah mengeluarkan pola berkendaraannya masing masing seperti US, Jepang, EEC. Indonesia sampai saat ini belum memiliki pola berkendara baku yang digunakan untuk pengujian kendaraan bermotor.

Studi mengenai emisi kendaraan bermotor telah dilakukan oleh pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Departemen Kimpraswil. Pada studi telah diukur emisi tiap kendaraan dari berbagai berbagai jenis merek dan tipe. Jumlah sampel kendaraan yang berhasil dikumpulkan untuk pengukuran adalah sebanyak 240 buah. Pengukuran ini dilakukan untuk mendapatkan emisi kendaraan sebagai fungsi dari kecepatan, cc (volume ruang bakar kendaraan) dan umur kendaraan. Hasil studi

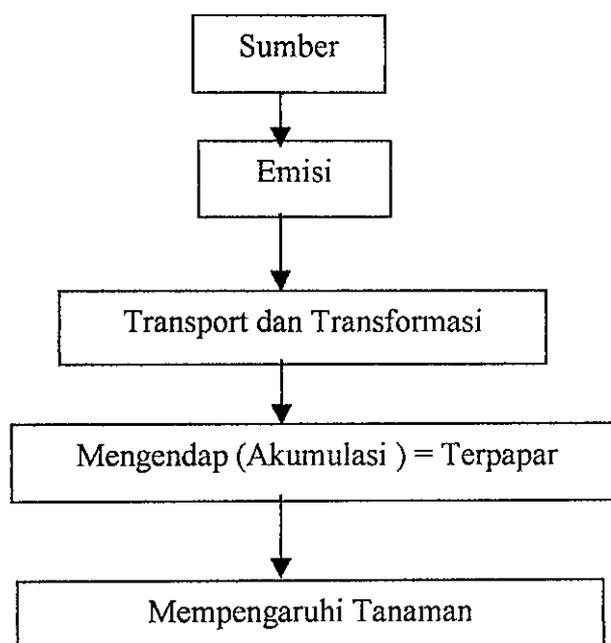
mendapatkan model empiris emisi dengan memasukkan variabel kecepatan rata-rata kendaraan ( $v$ ) (km/jam) pada ruas jalan yang diprediksi dengan persamaan sebagai berikut (I.G.W.Samsi Gunarta et all, 1999, Pedoman Teknik, No.017/T/BM/1999):

$$q_{CO} = 867,92 v^{-0,8648} \quad (\text{gr/km}). \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

$$q_{NO_2} = 0,0005v^2 - 0,0656 v + 3,0586. \quad (\text{gr/km}) . \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

## 2.8. Pengaruh Keberadaan Tanaman Jalan terhadap Pencemaran Udara

Salah satu bentuk hutan kota berupa jalur hijau. Pohon peneduh jalan raya yang berupa jalur hijau, dibangun dan dikembangkan agar diperoleh manfaat kualitas lingkungan perkotaan yang baik. Penanaman dengan tanaman yang tinggi dan rindang dapat bermanfaat untuk menyerap pencemar yang diasumsikan oleh kendaraan bermotor (Dahlan, 1992). Definisi hutan kota (*urban forest*) menurut Fakuara (1987) adalah tumbuhan atau vegetasi berkayu di wilayah perkotaan yang memberikan manfaat lingkungan yang sebesar-besarnya dalam kegunaan-kegunaan proteksi, estetika, rekreasi dan kegunaan-kegunaan khusus lainnya. Berikut ini sistematika pencemaran udara pada tanaman :



**Gambar 2.6** Sistematika Pencemaran Udara pada Tanaman (Heck.1984 and Heagle.198)

Saat ini para ahli menyatakan bahwa sangat tidak mungkin untuk mengidentifikasi konsentrasi gas diudara yang tidak tercemar, karena sumber polusi global terus berubah-ubah secara besar-besaran, dan sebagai hasilnya dibuat komposisi konsentrasi Gas pada kondisi udara bersih dan udara tercemar.

**Tabel.2.9** Hubungan antara konsentrasi Gas pada kondisi Udara Bersih dan Tercemar

Gas	$\mu\text{g m}^{-3}$	
	Udara Bersih	Udara Tercemar
Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> )	$57.6 \times 10^4$	$72.0 \times 10^4$
Karbon monoksida (CO)	115	$46 - 80.5 \times 10^3$
Methanol	920	1533
Nitrogen oksida (NO <sub>x</sub> )	450	?
Nitrogen dioksida (NO <sub>2</sub> )	1.9	376
Ozon	39	980
Sulfur dioksida (SO <sub>2</sub> )	0.5	524
Amonia	7.0	14.0

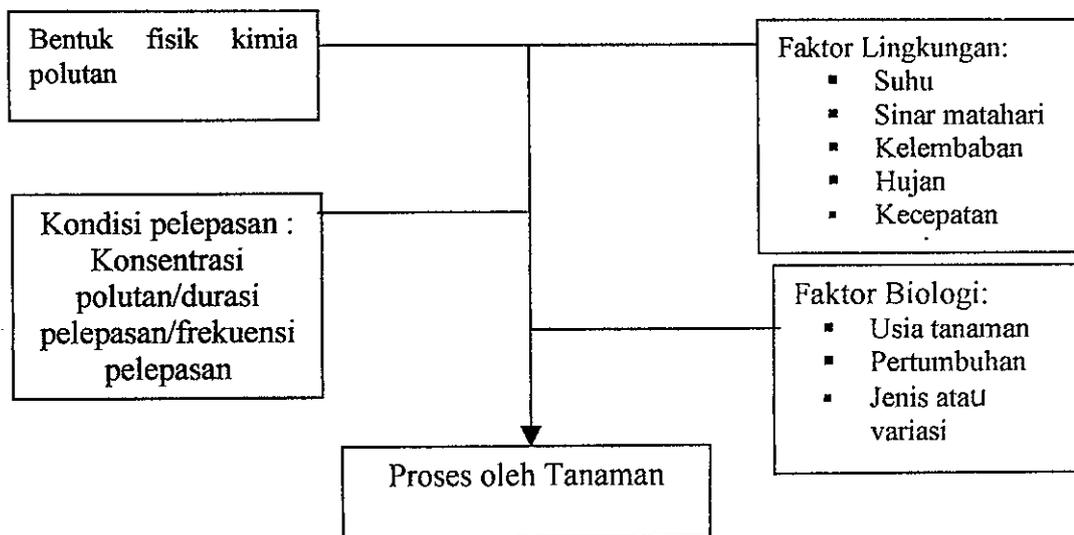
Sumber: Urone (1976)

Tanaman dapat mengurangi masalah polusi udara di sekitar jalan melalui penyerapan polutan gas dan penyerapan partikel pada permukaan daun. Selain itu vegetasi tanaman mengurangi konsentrasi polutan di sekitar jalan melalui pengenceran konsentrasi polutan. Angin yang berhembus kearah vegetasi tepi jalan terangkat ke puncak tanaman, sehingga polutan terencerkan pada atmosfer yang lebih luas. Menurut Grey & Daneke (1978) pepohonan membantu memindahkan butir-butir debu yang diangkut melalui udara melalui bagian permukaan daun, batang dan ranting pohon yang mampu menyerap butir-butir debu. Kemudian butir-butir debu yang menempel pada bagian permukaan pohon tersebut akan dicuci melalui presipitasi.

Pemanfaatan tanaman dapat menunjukkan adanya masalah pencemaran udara, seringkali tanaman memungkinkan dijadikan deteksi awal pada polusi. Tanaman juga sudah di manfaatkan dalam survai lapangan untuk menentukan akumulasi dari polutan tertentu dalam kajian laboratorium untuk menentukan polutan yang bersifat toksik terhadap tanaman (Guthrie & Perry, 1980). Daun adalah bagian yang paling menderita dan yang paling peka terhadap pencemaran (Heck & Brandt, 1977). Menurut Keller (1983) penggunaan daun tumbuhan dapat dijadikan sarana untuk mendeteksi pencemaran udara, dengan alasan:

- a. Bahan pencemar relatif mudah di determinasi secara kimiawi
- b. Bahan pencemar, tidak mudah rusak atau diubah oleh tumbuhan
- c. Beberapa bahan pencemar, secara alamiah terdapat dalam tumbuhan hanya dalam jumlah sedikit dan bukan merupakan komponen esensial
- d. Bahan pencemar mudah diambil atau diserap oleh akar, batang dan daun.

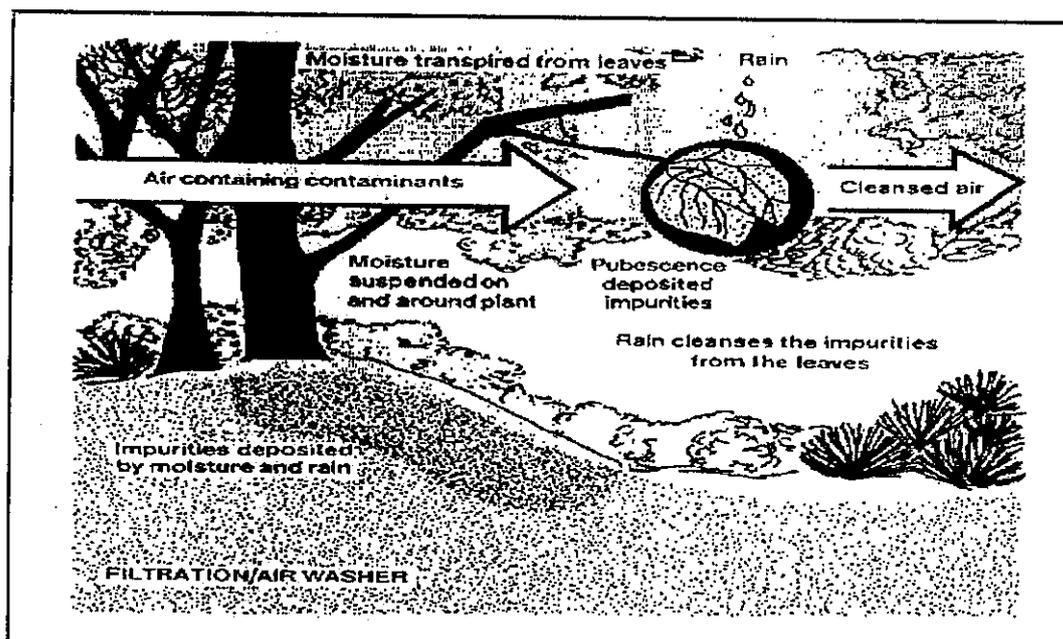
Banyak faktor yang mempengaruhi penyerapan gas polutan oleh tanaman, seperti digambarkan dibawah ini :



**Gambar.2.7** Faktor-faktor yang mempengaruhi penyerapan polutan oleh tanaman (Weinstein and McCune, 1979)

Secara umum, tanaman (Bennet and Hill, 1975; Hill, 1971; Rasmussen et al, 1975) khususnya pohon (Smith, 1979; Smith and Dochiner, 1975, 1976; Robert, 1971; Warennt, 1973) sebagai menyerap gas polutan. Saat kontak dengan tanaman, gas kemungkinan mengelilingi atau larut dalam permukaan bagian dalam atau diambil oleh tanaman melalui stomata.

Curah hujan dapat mencuci partikel dan logam terlarut yang mengendap di tajuk-tajuk pohon. Hujan lebat dapat mengakibatkan menurunnya daya akumulasi partikel di atas permukaan daun, karena air hujan dapat mencuci endapan partikel yang berada di atas permukaan daun tersebut (Linberg *et al*).



**Gambar 2.8** Proses Pencucian endapan partikel yang berada di atas permukaan daun.  
Sumber: Linberg *et al*

Pencemar yang diambil pada daun atau yang tersimpan didalamnya, masuk dalam bentuk cairan setelah senyawa kimia tersebut berubah akibat keadaan lembab, cairan tersebut akan merusak jaringan daun (Bernatzky, 1980) dan akhirnya tanaman mati. Oleh karena itu pemilihan tanaman untuk jalur hijau jalan harus dipertimbangkan secara cermat sehingga tanaman tersebut dapat berfungsi dengan baik.

Tidak semua pohon baik dijadikan pohon pelindung dan berfungsi sebagai penyerap polutan. Ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, agar pohon yang ditanam disepanjang jalan dapat benar-benar berfungsi dan tidak menambah permasalahan yang tidak diinginkan. Pemilihan pohon untuk penghijauan perlu didasarkan pada ketahanan terhadap partikel pencemar udara maupun kemampuan tanaman dalam menyerap partikel pencemar udara. Banyak jenis tanaman yang cukup baik untuk ditanam sebagai pohon pelindung ditempat tertentu karena mempunyai kemampuan sebagai penyerap polutan yang cukup tinggi.

Kemampuan tanaman dalam menyerap polutan dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan faktor tanaman itu sendiri. Faktor tanaman dalam menyerap dan mengakumulasi zat pencemar dipengaruhi oleh karakteristik morfologi tanaman, seperti ukuran dan bentuk daun, adanya rambut pada permukaan daun dan juga mengakumulasi zat pencemar dipengaruhi oleh karakteristik morfologi tanaman, seperti ukuran dan bentuk daun, adanya rambut pada permukaan daun dan juga tekstur daun (starkman, 1969, Chambertain, 1986), selain itu susunan anatomi daun juga berperan sebagai barrier (penghalang) terhadap masuknya materi dari luar, sehingga akan mempengaruhi jumlah pencemar yang berakumulasi di dalam daun (Leopold & Kriederman, 1975).

Menurut Fakuara (1987) jenis tanaman yang dipakai untuk menyerap gas adalah tanaman yang mempunyai sifat:

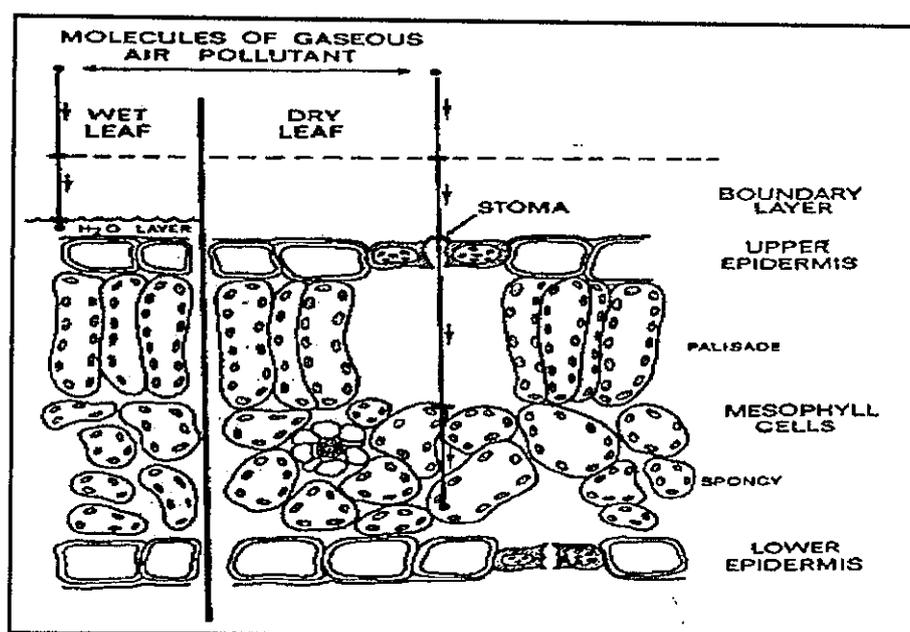
1. Mempunyai stomata yang banyak. Stomata atau mulut daun ialah tempat terjadinya pertukaran gas. Gas pencemar dapat diserap tanaman melalui mulut daun.
2. Mempunyai ketahanan tertentu terhadap gas tertentu. Setiap tanaman yang mempunyai stomata yang banyak dan mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap gas-gas yang dikeluarkan oleh industri bahkan dapat memanfaatkannya untuk proses metabolisme tanaman itu sendiri.

3. Mempunyai tingkat pertumbuhan yang cepat. Jenis tanaman yang cepat tumbuh mempunyai daya regenerasi yang cepat pula. Hal ini sangat diperlukan untuk dapat segera berfungsi apabila jenis tanaman tersebut sewaktu-waktu harus diganti oleh jenis yang lain bila telah habis masanya.

### 2.9. Pengertian Stomata Daun

Stomata merupakan lubang-lubang berbentuk lensa epidermis daun yang bersambungan dengan ruang antar sel dalam daun atau merupakan pintu gerbang pertukaran gas dan uap air antara tumbuhan dengan lingkungan luarnya.

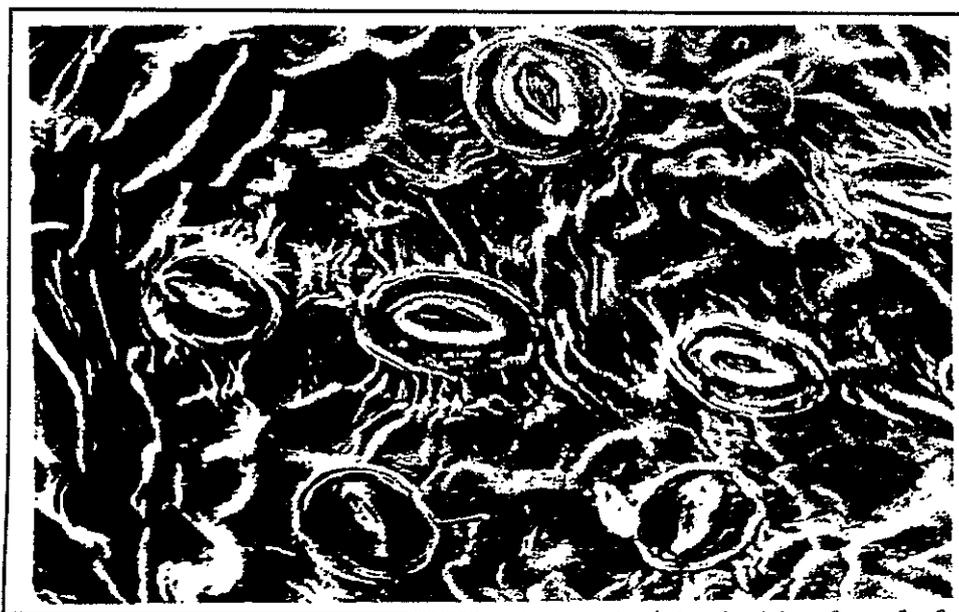
Epidermis daun merupakan satu lapisan sel yang tersusun yang merupakan bagian dari jaringan daun. Stomata merupakan tempat pertukaran gas. Pencemaran udara masuk dalam daun melalui stomata yang terbuka (Bertnatzky, 1980). Periode terbukanya stomata biasanya bersamaan waktunya dengan keadaan yang merangsang fotosintesis (Fitter & Hay, 1991). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini.



**Gambar 2.9** Diagram interaksi antara molekul gas polutan dengan daun

*Sumber: Bertnatzky, 1980*

Pada tanaman dikotil, umumnya stomata lebih banyak terletak pada lapisan epidermis bawah daripada epidermis atas. Pada dikotil berdaun lebar, stomata tersebar secara acak (Loveless, 1991). Jumlah stomata mempengaruhi volume gas yang masuk (Bidwell, 1979). Menurut Agustini (1994), tanaman yang efektif mereduksi polutan memiliki kepadatan stomata daun yang tinggi dan tajuk yang masif. Pada konsentrasi tinggi beberapa gas tertentu bereaksi dengan jaringan tumbuhan dan dapat menyebabkan kematian. Jika stomata rusak, maka pergerakan CO<sub>2</sub> ke dalam daun akan terhambat.

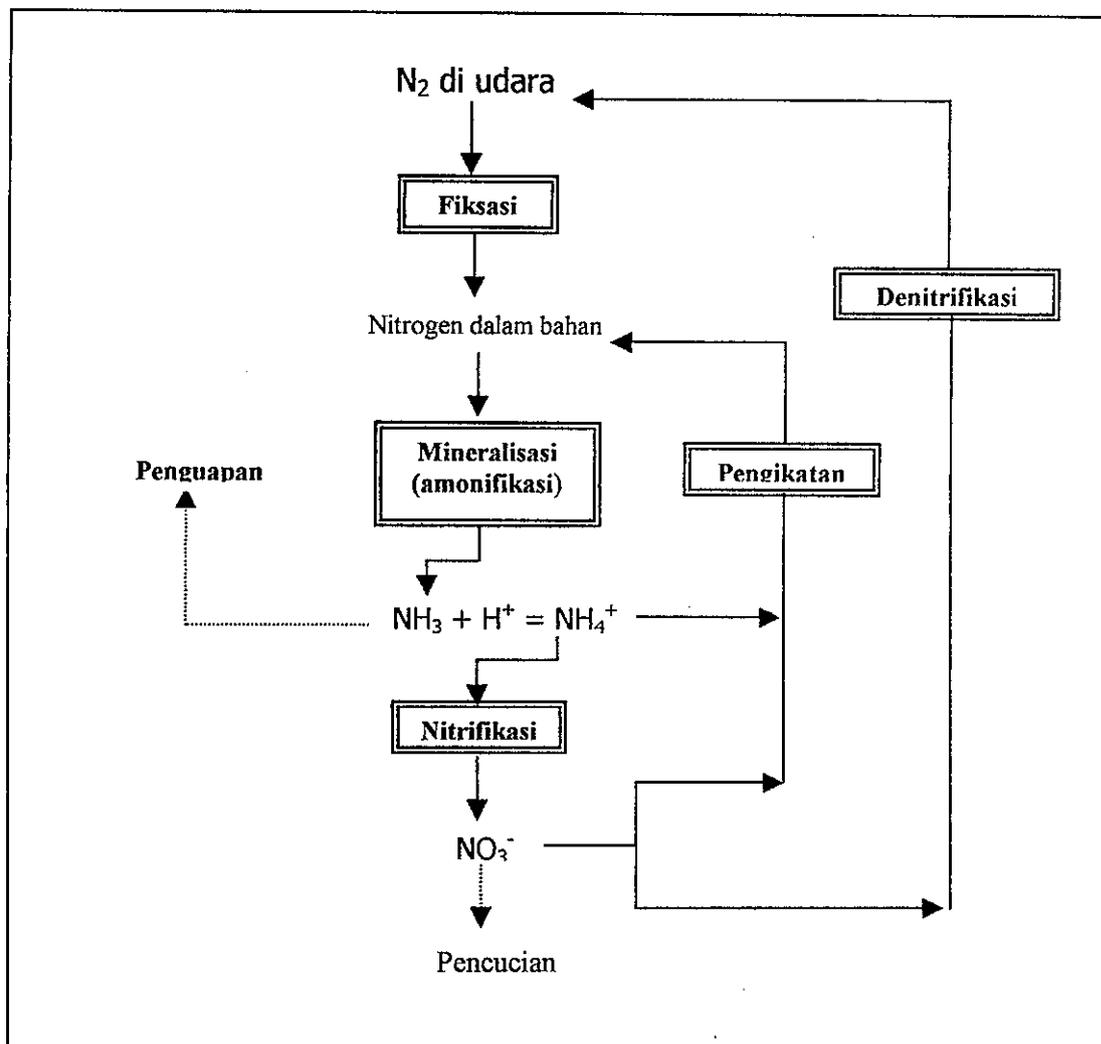


**Gambar 2.10** Hasil Scanning Stomata Daun dengan Skala 10  $\mu\text{m}$ .

*Sumber: Smith, 1981*

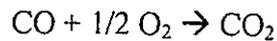
Menurut Suryowinoto (1995) daun yang tipis menyebabkan zat pencemar mudah terserap Tandjung (1995) menambahkan bentuk daun sederhana atau lebar lebih efektif menahan debu dibandingkan dengan daun majemuk yang permukaannya kecil, namun bentuk daun majemuk mempunyai luas permukaan total pepohonan jauh lebih besar dibandingkan bentuk daun sederhana. Gandasari (1994) mengemukakan bahwa tanaman yang mampu mereduksi polutan adalah tanaman yang ukurannya panjang, bentuk uniselluler sederhana dan multiselluler uniseriat.

Gas  $\text{NO}_2$  yang masuk ke dalam jaringan daun akan membentuk ion nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ). Ion-ion ini akan bereaksi dengan senyawa tidak jenuh membentuk isomer dan radikal bebas. Lebih lanjut dijelaskan oleh Smith (1981) ion nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) akan bersenyawa dengan amina membentuk nitrosoamine. Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) ternyata lebih berbahaya dari pada nitrat, karena asam nitrit dapat mempengaruhi fiksasi  $\text{CO}_2$  dan metabolisme asetat. Berikut siklus nitrogen dari udara:



Gambar 2.11 Siklus Nitrogen (Kiely, 1998)

Fardiaz, S (1992) menyatakan bahwa konsentrasi gas CO berubah menjadi CO<sub>2</sub> diudara melalui proses oksidasi, adapun proses reaksi foto kimianya adalah sebagai berikut:



kemudian dengan reaksi fotosintesis zat-zat anorganik H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> dirubah oleh klorofil menjadi zat organik karbohidrat dengan bantuan cahaya (Dwidjosoputro, (1980). Fotosintesis dipengaruhi oleh cahaya dan suhu, kadar CO<sub>2</sub>, kehadiran beberapa metabolit, mineral, usia tanaman, keadaan sel, produktivitas dibatasi oleh jumlah klorofil, hal ini menunjukkan hubungan yang dekat antara jumlah klorofil dan jumlah fotosintesis (Michael, 1984).

Bidwell dan Fraser dalam Smith (1981) mengemukakan, kacang merah (*Phaseolus vulgaris*) dapat menyerap gas ini sebesar 12-120 kg/km<sup>2</sup>/hari. Mikro organisme serta tanah pada lantai hutan mempunyai peranan yang baik dalam menyerap gas ini (Bennet dan Hill, 1975). Inman dan kawan-kawan dalam Smith (1981) mengemukakan, tanah dengan mikroorganismenya dapat menyerap gas ini dari udara yang semula konsentrasinya sebesar 120 ppm (13,8 x 10<sup>4</sup> ug/m<sup>3</sup>) menjadi hampir mendekati nol hanya dalam waktu 3 jam saja.

Faktor lingkungan berperan dalam penyerapan polutan, dimana serapan dipengaruhi oleh iklim seperti suhu, kelembaban udara, dan intensitas cahaya. Faktor tanaman dan faktor lingkungan ini berhubungan dengan fotosintesis dan transpirasi terhadap serapan gas oleh tanaman. Polusi udara dapat menghambat aktivitas fotosintesis.

Suhu berpengaruh terhadap laju fotosintesis, jika suhu tinggi maka laju fotosintesis semakin tinggi yang nantinya berpengaruh terhadap stomata daun (Prawiranata et al, 1981). Faktor cahaya juga berpengaruh terhadap membuka dan menutupnya stomata. Bila

intensitas cahaya cukup maka stomata akan terbuka sehingga zat pencemar akan masuk dan akumulasi zat pencemaran di dalam daun semakin bertambah, maka kerusakan akan semakin parah. Intensitas cahaya yang tinggi juga akan mengurangi kadar klorofil daun.

Ekosistem hutan secara global sebagai kapasitas dalam mentrasfer kontaminan diudara dari atmosfer dalam jumlah kira-kira sama atau tidak lebih dari tingkat produksi antropogenik, dalam hal ini CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dan HC. Hutan di Amerika mempunyai kemampuan dalam menghilangkan 25% produksi Karbon monoksida (CO) setiap tahun dan lebih dari 25% produksi Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dan Sulfur. Berikut perkiraan ekosistem hutan di Amerika dalam menyerap polutan pencemar di udara.

**Tabel. 2.10** Kemampuan Ekosistem Hutan Global dan Amerika dalam menyerap Polutan NO<sub>x</sub> dan CO dari udara setiap tahun

Polutan	Mekanisme	Global (kg)	Amerika (kg)
Karbon monoksida	a. Vegetasi	$5 \times 10^{10}$	$0.3 \times 10^{10}$
	b. Tanah	$50 \times 10^{10}$	$2 \times 10^{10}$
	Total a dan b	$55 \times 10^{10}$	$2.3 \times 10^{10}$
Nitrogen oksida	a. Vegetasi	$1 \times 10^{11}$	$0.06 \times 10^{11}$
	b. Tanah	$35 \times 10^{11}$	$2 \times 10^{11}$
	Total a dan b	$36 \times 10^{11}$	$2.06 \times 10^{11}$

Sumber: Smith (1981)

Menurut Nasrullah et al. (1994) tanaman tepi jalan dapat menurunkan konsentrasi polutan disekitar jalan. Vegetasi Cemara *Criptomera Japonicum* D. Don. dapat mengurangi konsentrasi SPM (Suspended Particulate Matter) 9-15%. Pada kondisi bertiup vegetasi tersebut mengurangi konsentrasi NO<sub>2</sub> 11-17% dan 20-40% pada kondisi angin diam (kecepatan angin lebih kecil 1m/sec). Namun demikian belum banyak diketahui, kemampuan jenis vegetasi lainnya dalam mengurangi konsentrasi polutan dari udara.

Tanaman alfava juga telah dibuktikan dapat menyerap poluan CO, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> dan HF (Hill, 1971)

**Tabel.2.11** Laju Penjerapan Polutan oleh tanaman Alfa dan daya larut

Polutan	Laju penjerapan oleh tanaman alfa pada 1 pphm	Total kecepatan pengendapan	Daya larut pada suhu 20°C
	(Liter mnt <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	(cm det <sup>-1</sup> )	(cm <sup>3</sup> gas cm <sup>-3</sup> H <sub>2</sub> O)
CO	0.0	0.00	0.02
NO	0.6	0.10	0.05
CO <sub>2</sub>	2.0	0.33	0.88
PAN	3.8	0.63	-
O <sub>3</sub>	10.0	1.67	0.26
NO <sub>2</sub>	11.4	1.90	Dekomposisi
Cl <sub>2</sub>	12.4	2.07	2.30
SO <sub>2</sub>	17.0	2.83	39.40
HF	22.6	3.77	446

*Sumber: Hill and Chamberlain (1974)*

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Rancangan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan metoda survai, observasi terutama untuk mengidentifikasi pohon, volume dan komposisi lalu lintas. Rancangan penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut:

- Pengumpulan data lalu lintas diruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta
- Pengumpulan data kualitas udara (polutan NO<sub>2</sub> dan CO)
- Pengumpulan data visual tanaman
- Menganalisa pengaruh keberadaan tanaman terhadap konsentrasi polutan NO<sub>2</sub> dan CO pada ruas jalan tersebut.

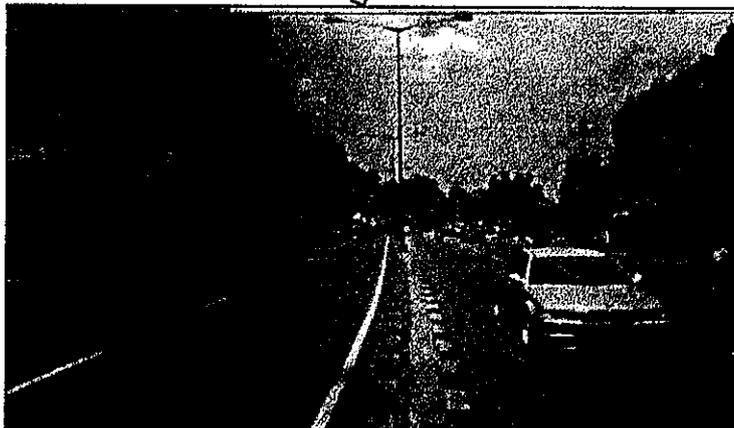
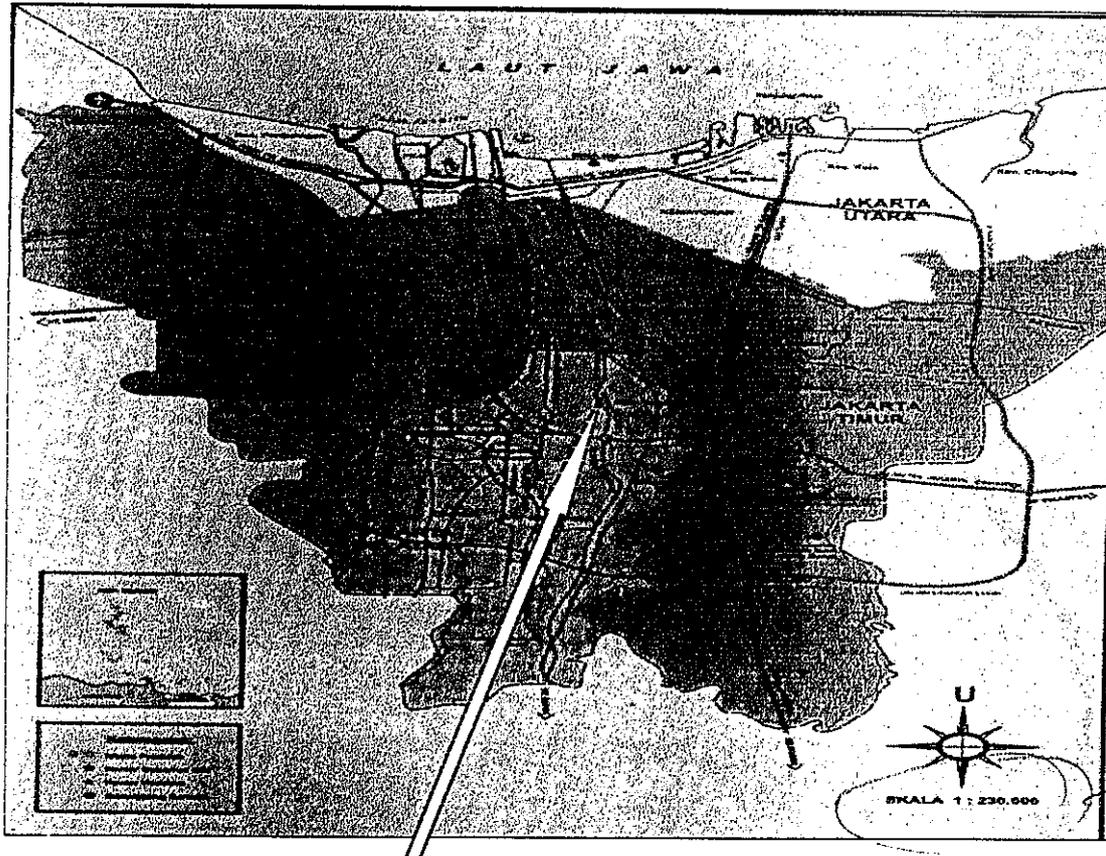
#### **3.2. Ruang Lingkup Penelitian**

Yang menjadi penekanan pada studi ini adalah menganalisis pengaruh adanya tanaman jalan terhadap kondisi pencemaran udara akibat volume kendaraan pada ruas jalan Prof.DR Soepomo Jakarta. Jenis konsentrasi polutan yang dijadikan objek analisis adalah Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dan Karbon monoksida (CO).

#### **3.3. Lokasi Penelitian**

Sebelum melakukan survai penetapan lokasi penelitian, maka dilakukan survai untuk mengetahui data apa yang terdapat dilapangan. Dalam survai ini dapat juga dilihat peta lokasi dari ruas jalan yang akan dijadikan sampel lokasi studi.. Berdasarkan survai yang telah dilakukan maka lokasi studi ditetapkan yaitu pada salah ruas jalan di Jakarta selatan,

pertimbangan dalam pemilihan lokasi tersebut disebabkan jalan Soepomo merupakan kawasan yang cukup padat dan trotoar pada jalur hijau sisi jalan terdapat daerah yang cukup kontras yaitu terdapat daerah yang jarak tanamannya cukup rapat dan sementara ada daerah yang jarak antar tanamannya cukup jauh.



**Gambar 3.1** Lokasi Penelitian

### 3.4. Jenis dan Sumber Data

Jenis data berupa data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini disajikan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data Sekunder yang akan digunakan dalam penelitian

No.	Jenis Data	Sumber Data
1.	Peta Kota Jakarta	Komersil
2.	Kondisi Jalan	Dinas Perhubungan DKI Jakarta
3.	Volume Kendaraan	Ditjen Prasarana Wilayah Dep.Kimpraswil
4.	Data Visual Tanaman	Puslitbang Jalan Dep.Kimpraswil
5.	Konsentrasi NO <sub>2</sub> dan CO	Puslitbang Jalan Dep.Kimpraswil

### 3.5. Instrumen Penelitian

#### 3.5.1. Pengukuran Parameter NO<sub>2</sub>

Pegukuran dilakukan dengan menggunakan Mobil Unit Laboratorium Polusi Udara (MULPU) dan alat-alat pendukung lainnya. Peralatan MULPU menggunakan standar Japan International Standar (JIS), PP Nomor 41 tahun 1999 tentang pengendalian Pencemaran Udara dan KEP-03/MENKLH/I/1991 tentang Baku Mutu Pencemaran Udara. Untuk pengujian kadar NO<sub>2</sub> di udara, peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tabung penyerap yang seluruhnya terbuat dari bahan gelas ukuran normal
- Pompa udara dengan kecepatan alir sampai 50 liter/menit, ketelitian 0.01 liter/menit.
- Pengukuran kecepatan alir udara (0-1) liter/menit
- Anemometer yang mempunyai ketentuan sebagai berikut:
  - Batas ukuran (0 – 1) m, (0 – 30) m
  - Suhu (0 – 80)<sup>0</sup>C, ketelitian 2%, tenaga AC 100 Volt atau DC 12 Volt, ukuran 86 mm x 123 mm x 180 mm.

- Buret dengan berbagai ukuran 25 ml, 50 ml dan 100 ml.
- Labu dengan berbagai ukuran 25 ml, 50 ml, 100 ml
- Gelas ukuran 2 liter atau lebih
- Spectrophotometer :
  - Batas penguukuran : (380 – 700) nm
  - Tenaga : battere kering 6 volt
- Flow meter
  - Batas pengukuran : (0.05 – 2) L/menit
- Tiang setinggi 7.5 m' untuk kedudukan sampel pada berbagai penelitian

### 3.5.2. Pengukuran Parameter CO

Pengukuran Karbon monoksida (CO) dilakukan dengan alat analyzer CO dengan model alat GIA-72M menggunakan metode NDIR (Non-Dispersive Infra Red). Secara umum prinsip kerjanya adalah penyerapan spektrum infra merah oleh molekul CO pada panjang gelombang tertentu (sekitar 4.5 - 5 $\mu$ m) dimana besarnya intensitas penyerapan sebanding dengan konsentrasi karbon monoksida. Energi yang datang dari sebuah sumber pencemar didalam daerah infra merah dipilah menjadi dua berkas sinar paralel dan diarahkan menuju sel-sel referensi dan sel sampel. Kedua berkas sinar tersebut lewat melalui sel-sel yang setara masing-masing berisi detektor selektif dan CO. CO didalam sel akan mengabsorpsi radiasi infra merah hanya pada frekuensi tersebut. Setiap CO yang memasuki sel sampel akan mengabsorpsi radiasi yang akan menurunkan temperatur dan tekanan didalam sel detektor sehingga akan menggerakkan diafragma. Pergerakan ini akan dideteksi secara elektronik dan diimplikasi untuk mendapat sinyal keluarnya. Adapun spesifikasi alat CO analyzer adalah sebagai berikut:

Nama	:	Atmospheric CO Analyzer
Model	:	GIA-72
Fungsi	:	CO
Metoda	:	Non-Dispersive Infra Red (NDIR)
Jarak ukur/satuan	:	0 ppm-10 ppm; 0 ppm – 20 ppm; 0 ppm – 50 ppm
Luaran	:	konsentrasi saat itu, Konsentrasi rata-rata per detik, menit, jam.

### **3.5.3. Pengumpulan Data Volume Kendaraan**

Pengumpulan data volume kendaraan dilaksanakan dalam waktu 24 jam dengan interval waktu maksimum setiap 1 jam kendaraan yang lewat, adapun pencatatan yang dilakukan adalah jenis kendaraan, arah lalu lintas dan jam lalu lintas.

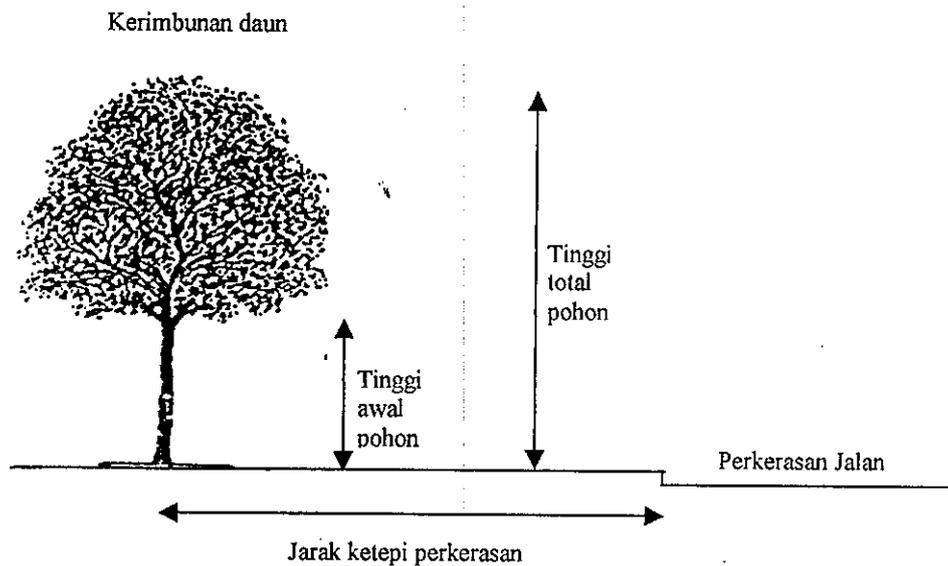
Jenis kendaraan dibagi dalam beberapa kelompok yaitu:

- Kendaraan penumpang (LV)
- Kendaraan Berat (HV)
- Sepeda Motor (MC)

### **3.5.4. Pengamatan Visual Tanaman**

Pengamatan visual karakteristik tanaman disepanjang trotoar jalur hijau jalan Prof.Dr.Soepomo dilakukan dengan kasat mata, adapun pengamatan yang akan dilakukan adalah dengan memprediksi:

- Jarak pohon ketepi perkerasan
- Diameter Batang pohon
- Tinggi awal dan total pohon
- Volume dan persentase kerimbunan daun



Gambar 3.2 Pengamatan Visual Tanaman

**3.6. Analisa Data**

**3.7.1. Volume Kendaraan**

Volume kendaraan per jam dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$n = n_{LV} \times f_{LV} + n_{HV} \times f_{HV} + n_{MC} \times f_{MC} \dots\dots\dots(3.1)$$

**3.7.2. Emisi**

Untuk menghitung emisi rata-rata per kendaraan digunakan persamaan sebagai berikut:

$$q_{NO_2} = 0,0005 v^2 - 0,0656 v + 3,0586 \dots\dots\dots(3.2)$$

dan

$$q_{CO} = 867,92 v^{-0,8648} \dots\dots\dots(3.3)$$

. Emisi lalu lintas pada ruas jalan untuk seluruh kendaraan dengan volume n adalah

$$Q/L = q \cdot n \dots\dots\dots(3.4)$$

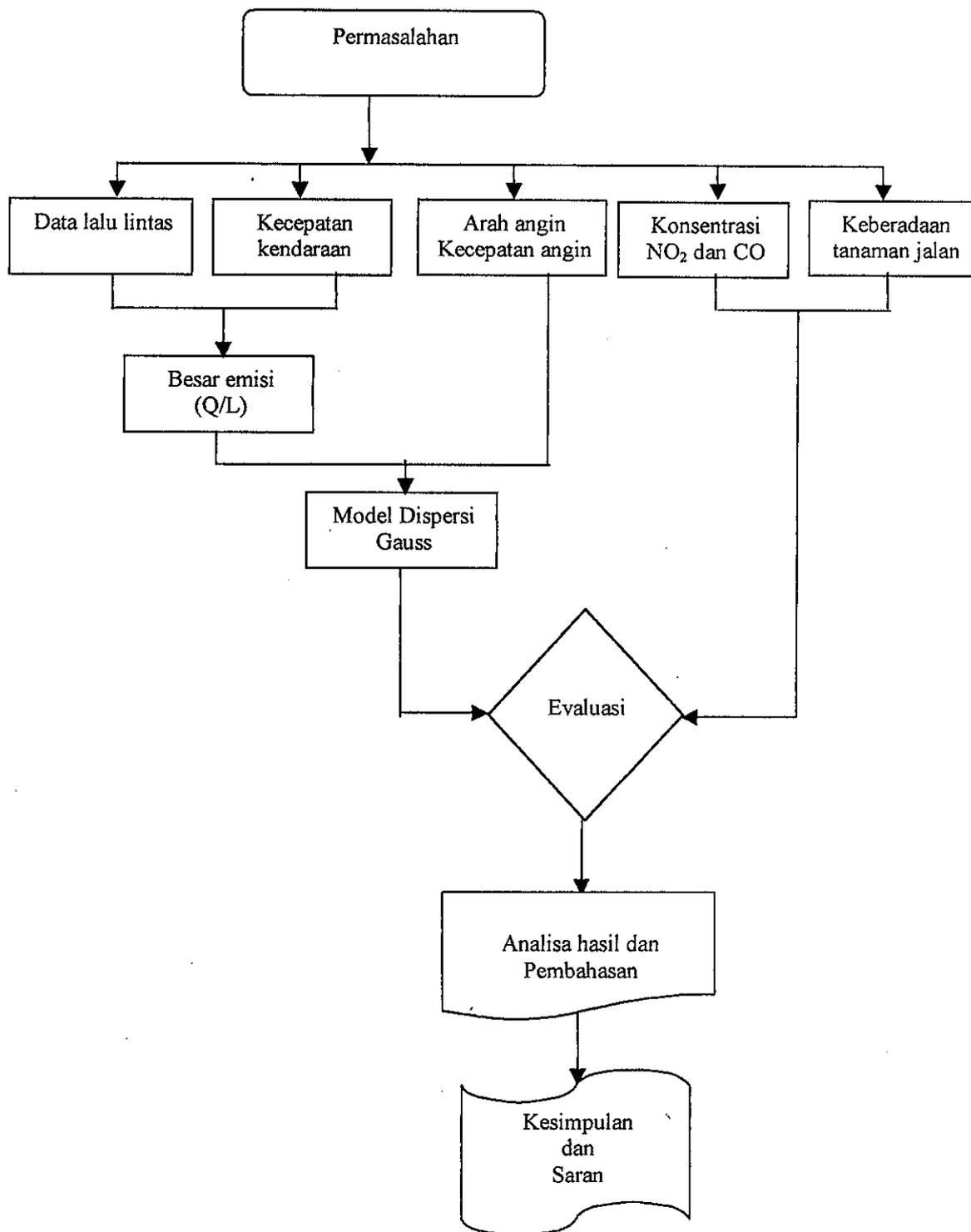
### 3.7.3. Model Gaussian

Dalam melakukan analisa sebaran konsentrasi NO<sub>2</sub> dan CO diudara pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo menggunakan model Dispersi Gauss, yang persamaannya adalah sebagai berikut:

$$C_{(x,t)} = \frac{2Q/L}{(2\pi)^{1/2} u \sigma_z} \left[ \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \dots\dots\dots(3.1)$$

sedangkan faktor volume lalu lintas (n) disubstitusikan kedalam persamaan dispersi dengan mengeliminasi laju emisi Q (g/det) menggunakan persamaan berikut:

$$Q = n.q.L \dots\dots\dots(3.2)$$



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

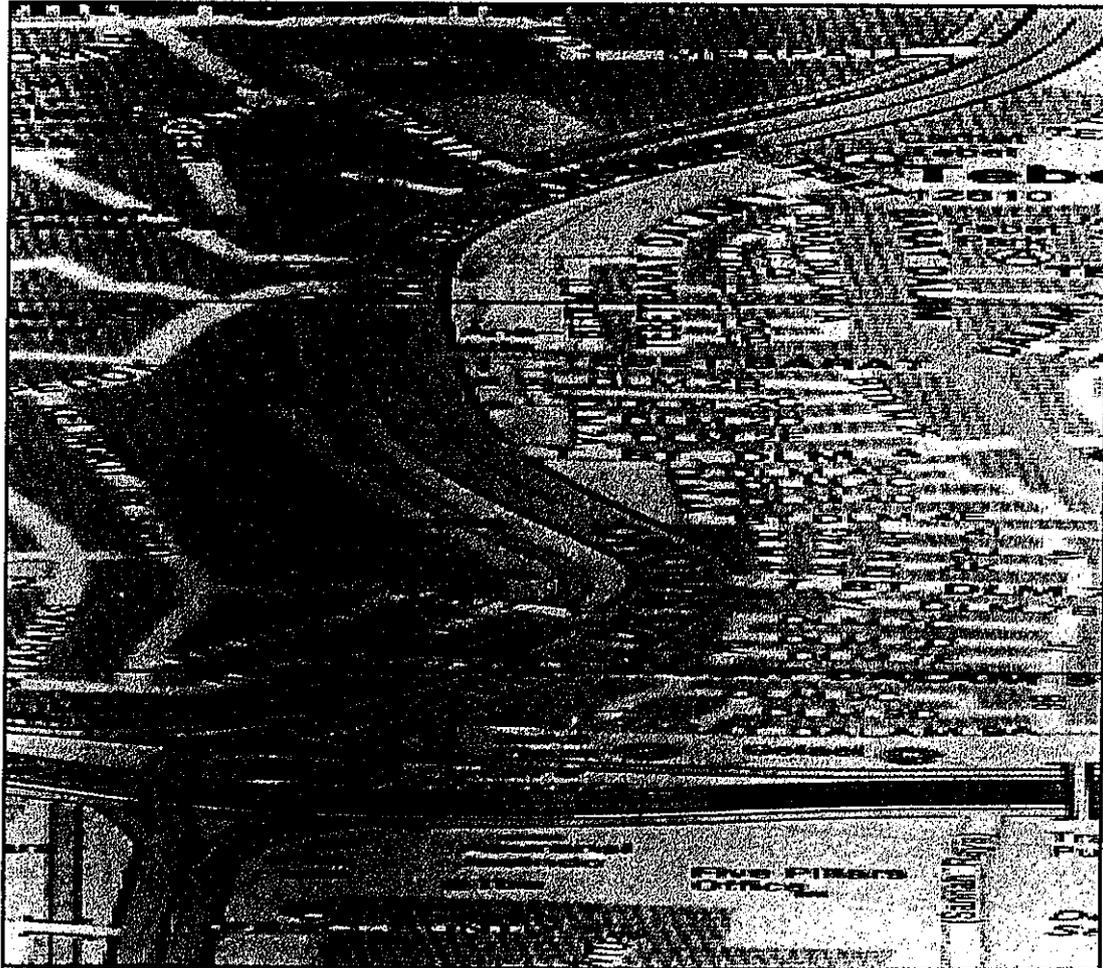
### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Gambaran Umum Jalan Prof.Dr.Soepomo – Jakarta

Wilayah Kota Jakarta Selatan merupakan dataran rendah dengan ketinggian rata-rata 26.2 meter diatas permukaan laut, terletak pada  $106^{\circ}45'00''$  Bujur Timur dan  $6^{\circ}15'40'$  Lintang Selatan. Luas Wilayah Kota Jakarta Selatan sebagaimana SK Gubernur DKI Jakarta No.1227 tahun 1989 adalah darata seluar  $145.73 \text{ km}^2$  yang terbagi dalam 10 kecamatan dan 65 kelurahan.

Dengan luas wilayah hanya sekitar  $145.73 \text{ km}^2$ , wilayah Jakarta Selatan menanggung penduduk yang semakin banyak dari tahun ke tahun. Dengan tingkat kepadatan penduduk per kilometer persegi juga mengalami kenaikan. Jika pada tahun 1961, kepadatan penduduk sekitar 3.209 jiwa per  $\text{km}^2$ , maka pada tahun 2000 diperkirakan mencapai 14.34 ribu jiwa per  $\text{km}^2$ . Dengan demikian selama kurun waktu tersebut kepadatan penduduk DKI Jakarta khususnya Jakarta Selatan diperkirakan naik lebih dari empat kali lipat. Dan, dari lima kota di DKI Jakarta, Jakarta Selatan merupakan wilayah kota ketiga paling padat penduduknya setelah Jakarta Pusat dan Jakarta Barat.

Prof. Dr. Soepomo Jakarta adalah salah satu jalan utama di kota Jakarta Selatan yang menghubungkan wilayah Jakarta Selatan dengan pusat aktivitas di Jakarta Pusat. Secara administratif jalan tersebut terletak dalam wilayah Kecamatan Tebet Kota Jakarta Selatan dengan luas lahan  $9.53 \text{ km}^2$  dengan jumlah penduduk (Bappeda Kota Jakarta) mencapai 228.080 jiwa.



**Gambar 4.1** Lokasi ruas Jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta



**Gambar 4.2** Kondisi lingkungan sekitar ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta

Berikut ini perincian data wilayah dan lingkungan ruas jalan Prof.Dr.Soepomo yang dapat disajikan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Batas wilayah ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta.

No.	Arah	Kelurahan	Luas Lahan (km <sup>2</sup> )	Jumlah Penduduk (jiwa)
1	Utara	1. Manggarai	0.95	35.540
		2. Manggarai Selatan	0.51	24.980
		3. Bukit Duri	1.08	35.832
		4. Menteng Dalam	2.58	40.348
2	Selatan	1. Tebet Timur	1.39	23.504
		2. Tebet Barat	1.72	30.884
		3. Kebon Baru	1.30	36.992

Sumber: Bappeda DKI Jakarta

Ditinjau dari tata guna lahan, tepat dipinggir jalan didominasi oleh bangunan perkantoran, jasa, pendidikan dan perdagangan, dimana hal ini sesuai dengan Rencana Tata ruang Wilayah Kota Jakarta Selatan. Disisi barat segmen jalan terdapat kampus Sahid, Bangunan-bangunan toko, kantor . sedangkan disisi timur segmen jalan terdapat bangunan bertingkat Kantor Bank BNI, Bank BCA dan Pertokoan.

Jalan Prof.Dr.Soepomo dimulai dari persimpangan Jl. Haryono MT dan Jl. Gatot Subroto atau Fly Over Tebet (Pancoran) sampai dengan persimpangan Jl.Tebet Raya. Bangkitan kendaraan umumnya berasal dari arah Pancoran menuju arah Manggarai yaitu menuju daerah Jakarta Pusat..

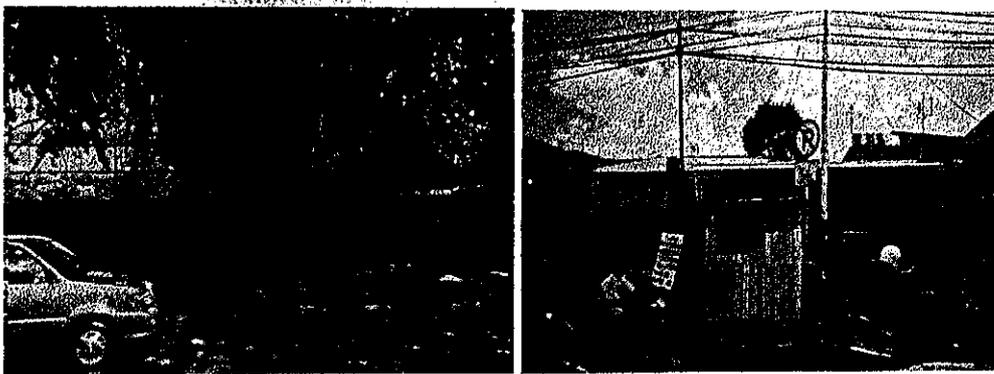
Adapun data kondisi jalan Prof.Dr.Soepomo dapat disajikan pada Tabel.4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Kondisi Jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta

No	Data	Keterangan
1.	Status Jalan	: Jalan Propinsi
2.	Wewenang Pembina Jalan	: Gubernur
3.	Fungsi Jalan	: Arteri Primer
4.	Daya Dukung Jalan	: 10 ton
5.	Jumlah Jalur	: 2 jalur, 2 arah, 4 lajur
6.	Standar Jalan	: Kota
7.	Panjang Jalan	: 1.70 km
8.	Lebar Jalan	: 28 meter
9.	Lebar DAMIJA	: 44.09 meter

*Sumber: Dinas Perhubungan DKI Jakarta*

Tanaman pinggir jalan pada ruas jalan Soepomo Jakarta termasuk jenis pohon ukuran besar dan cukup tinggi (lebih dari 20 m). Kondisi tanaman relatif tumbuh baik, namun perlu pemeliharaan ranting-ranting kecil agar kerimbunan daun tidak menutupi badan jalan. Ada beberapa tanaman mati atau tumbuh tidak maksimal, terlihat kurangnya perawatan atau pemeliharaan dari instansi terkait, hal tersebut disebabkan digunakannya trotoar sebagai tempat tempat berjualan dan sarana parkir kendaraan bermotor.



**Gambar 4.3** Kondisi tanaman jalan serta tidak adanya tanaman pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta.

## 4.2. Data Hasil Penelitian

### 4.2.1. Komposisi dan Volume Lalu Lintas

Kendaraan yang beroperasi di ruas jalan Soepomo Jakarta terdiri dari beragam jenis yang dapat dikelompokkan kedalam beberapa kategori kendaraan, yaitu kendaraan penumpang, Bus, truk (besar dan kecil) dan sepeda motor. Dari hasil pengklasifikasian tersebut didapat jumlah lalu lintas untuk kendaraan penumpang sebesar 39.460 kendaraan/hari, Bus 1.103 kendaraan/hari, Truk Besar 1.473 kendaraan/hari, Truk kecil 1.548 kendaraan/hari dan sepeda motor 14.252 kendaraan/hari.

Berikut ini rekapitulasi data Volume dan Komposisi Kendaraan pada ruas Jalan Soepomo Jakarta.

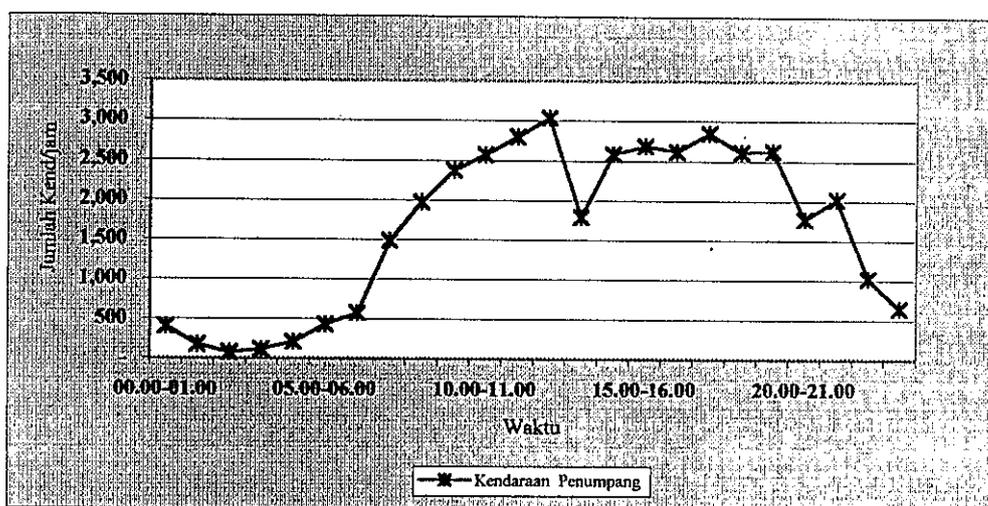
Tabel 4.3 Data Volume dan Komposisi Kendaraan Jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta

waktu	Komposisi dan Jumlah Lalu Lintas					Jumlah
	Kendaraan Penumpang	Bus	Truk		Sepeda Motor	
			Besar	Kecil		
00.00-01.00	403	2	-	-	181	586
01.00-02.00	173	-	-	-	96	269
02.00-03.00	72	4	41	-	49	165
03.00-04.00	116	-	20	-	61	197
04.00-05.00	212	9	61	-	102	384
05.00-06.00	432	56	41	-	125	654
06.00-07.00	574	47	41	10	199	870
07.00-08.00	1,486	95	20	14	559	2,174
08.00-09.00	1,972	93	-	81	954	3,101
09.00-10.00	2,378	68	61	143	928	3,580
10.00-11.00	2,574	63	102	201	881	3,822
11.00-12.00	2,802	63	143	196	929	4,133
12.00-13.00	3,033	83	184	119	1,010	4,430
13.00-14.00	1,793	56	205	76	477	2,608
14.00-15.00	2,587	70	102	196	736	3,692
15.00-16.00	2,689	79	102	162	867	3,900
16.00-17.00	2,622	88	41	139	1,098	3,987
17.00-18.00	2,846	70	-	91	1,043	4,050
18.00-19.00	2,610	47	61	19	893	3,631
19.00-20.00	2,626	44	41	53	955	3,718

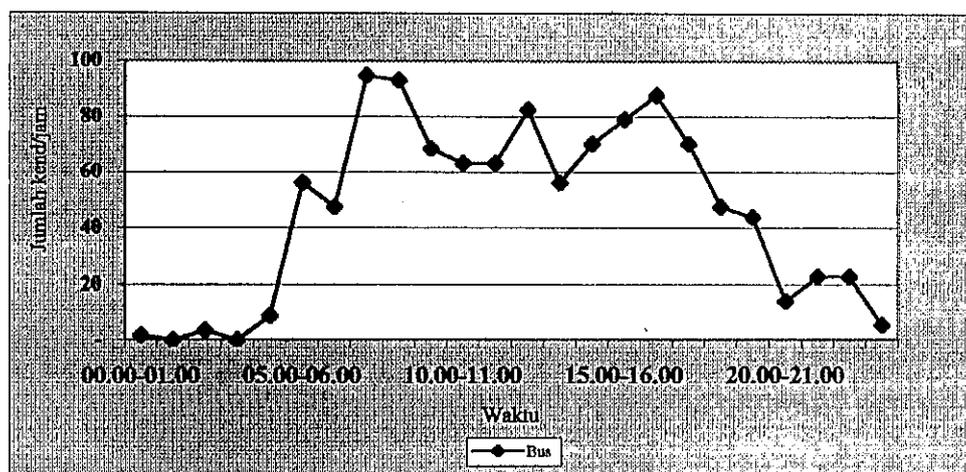
Lanjutan tabel 4.3

20.00-21.00	1,771	14	82	10	879	2,755
21.00-22.00	2,021	23	-	19	588	2,650
22.00-23.00	1,020	23	82	14	382	1,521
23.00-24.00	649	5	41	5	260	961
Jumlah	39,460	1,103	1,473	1,548	14,252	57,836
Rata-rata	1,644	46	61	65	594	2,410
Minimal	72	-	-	-	49	120
Maksimal	3,033	95	205	201	1,098	4,631

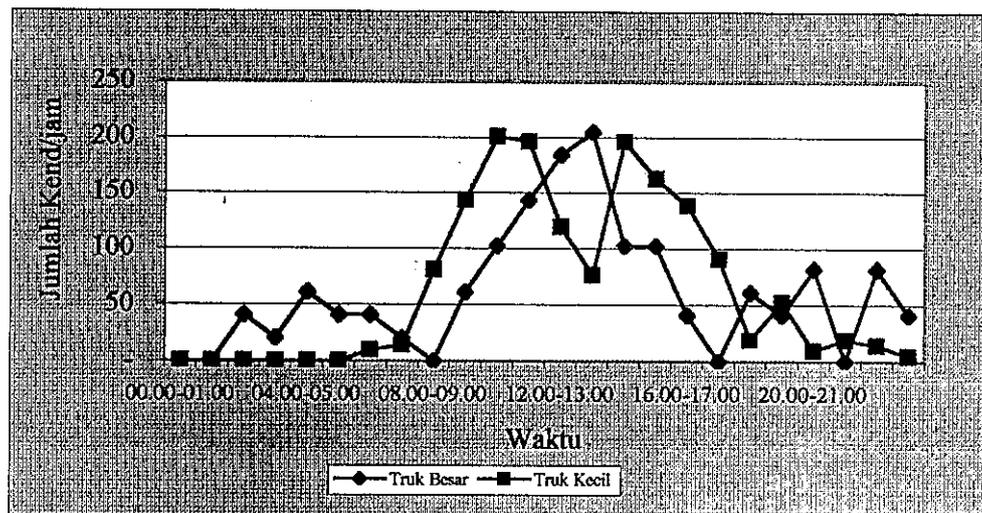
sumber: Puslitbang Jalan (07 Juli 2003)



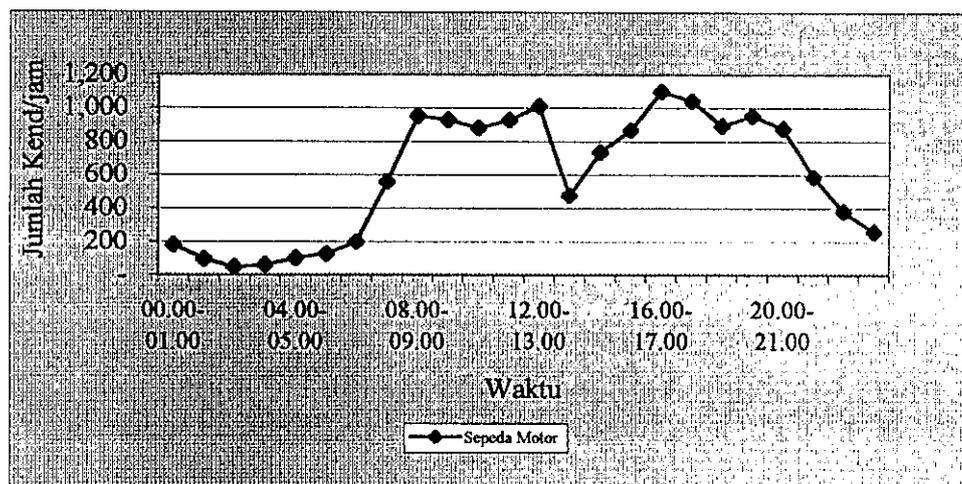
Gambar 4.4. Volume kendaraan penumpang pada Jl.Prof.Dr.Soepomo Jakarta



Gambar 4.5. Volume kendaraan Bus pada Jl.Prof.Dr.Soepomo Jakarta



**Gambar 4.6.** Volume kendaraan Truk pada Jl.Prof.Dr.Soepomo Jakarta



**Gambar 4.7.** Volume Sepeda Motor pada Jl.Prof.Dr.Soepomo Jakarta

Dilihat dalam jumlah persentasenya maka jumlah kendaraan penumpang dan sepeda motor adalah dominan, berdasarkan kategorinya adalah kendaraan penumpang = 68.23 %, bus = 1.91 %, truk besar = 2.55 %, truk kecil = 2.68% dan sepeda motor = 25.64%. Umumnya kepadatan lalu lintas pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo terjadi dari pagi hari sampai dengan siang hari mulai pukul 08.00 – 13.00 yaitu antara 3.101 sampai 4.430 kendaraan dan sore hari sampai dengan malam hari mulai pukul 14.00 – 20.00 yaitu antara 3.631 – 4.050 kendaraan

#### 4.2.2. Konsentrasi NO<sub>2</sub> dan CO

Lokasi titik pengambilan data pengukuran Konsentrasi NO<sub>2</sub> dan CO pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta di daerah ada tanaman terletak di lokasi titik A (STA.53.20) dan titik B (STA.86.50), sedangkan pada daerah tidak ada tanaman di lokasi titik C (STA.195.70), titik D (STA.209.90), titik E (STA.218.70) dan titik F (STA.240.70), Titik pengamatan masing-masing berada pada ketinggian 1.50 m; 3.00 m, 4.50 m; 6.00 m serta 7.50 m.

##### a. Konsentrasi NO<sub>2</sub>

Data hasil pengukuran konsentrasi NO<sub>2</sub> pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo diukur perjam dalam waktu 24 jam, pada daerah ada tanaman konsentrasi NO<sub>2</sub> rata-rata terbesar untuk pengukuran 24 jam di titik pengamatan A (STA.53.20) adalah pada ketinggian 1.50 m yaitu sebesar 0.038 ppm sedangkan di titik pengamatan B (STA.86.50) pada ketinggian 1.50 m sebesar 0.039 ppm.

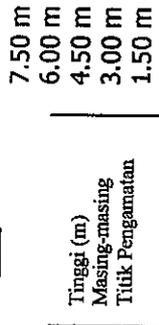
Pada daerah tidak ada tanaman konsentrasi NO<sub>2</sub> rata-rata tertinggi di titik pengamatan C pada ketinggian 1.50 m sebesar 0.042 ppm, di titik D (STA. 209.90) konsentrasi NO<sub>2</sub> rata-rata tertinggi terjadi pada ketinggian 1.50 m yaitu sebesar 0.046 ppm, di titik pengamatan titik E (STA.218.70) konsentrasi NO<sub>2</sub> rata-rata tertinggi terjadi pada ketinggian 1.50 m yaitu sebesar 0.056 ppm dan titik F (STA.240.70) pada ketinggian 1.50 m yaitu sebesar 0.056 ppm. Berdasarkan PP No.41 tahun 1999 Baku Mutu Udara Ambient konsentrasi NO<sub>2</sub> untuk waktu pengukuran 24 jam adalah sebesar 150 µg/Nm<sup>3</sup> (0.075 ppm), yang berarti konsentrasi NO<sub>2</sub> pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo masih dibawah Baku Mutu.

Daerah Kelompok Ada Tanaman



A Sta. 53.20  
B 86.50

Daerah Kelompok Tanpa Tanaman

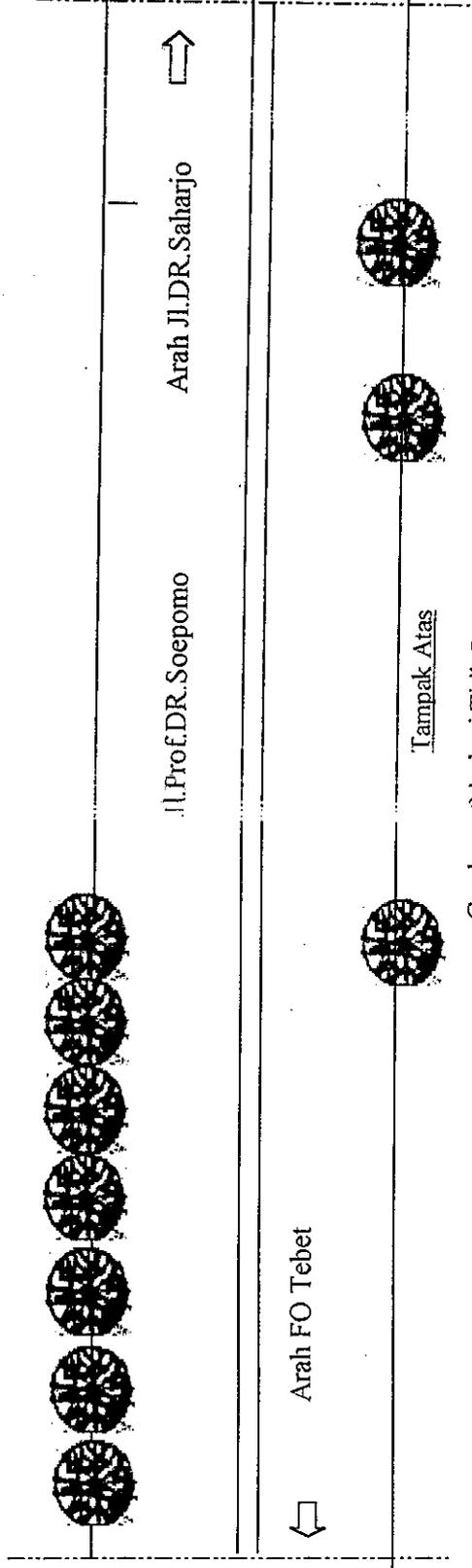


7.50 m  
6.00 m  
4.50 m  
3.00 m  
1.50 m

Tinggi (m)  
Masing-masing  
Titik Pengamatan

C 195.00  
D 209.90  
E 218.70  
F Sta. 240.7

Tampak Muka



Gambar. 3 Lokasi Titik Pengamatan

Tabel.4.4 Konsentrasi NO<sub>2</sub> rata-rata, Maksimum dan Minimum Jl.Prof.Dr.Soepomo

Titik Pengukuran	Uraian	Konsentrasi NO <sub>2</sub> (ppm)				
		1.50 m	3.00 m	4.50 m	6.00 m	7.50 m
A STA.53.20	Rata-rata	0.038	0.031	0.024	0.021	0.014
	Minimum	0.021	0.015	0.011	0.011	0.004
	Maksimum	0.071	0.061	0.040	0.057	0.040
B STA.86.50	Rata-rata	0.039	0.032	0.025	0.020	0.014
	Minimum	0.019	0.017	0.009	0.009	0.002
	Maksimum	0.077	0.065	0.046	0.055	0.044
C STA.195.70	Rata-rata	0.042	0.031	0.028	0.021	0.017
	Minimum	0.023	0.014	0.011	0.005	0.003
	Maksimum	0.095	0.053	0.080	0.053	0.054
D STA.209.90	Rata-rata	0.046	0.039	0.034	0.029	0.020
	Minimum	0.032	0.013	0.011	0.003	0.000
	Maksimum	0.077	0.063	0.060	0.063	0.057
E STA.218.70	Rata-rata	0.056	0.045	0.043	0.035	0.027
	Minimum	0.028	0.022	0.014	0.011	0.005
	Maksimum	0.080	0.069	0.066	0.060	0.050
F STA 240.70	Rata-rata	0.056	0.047	0.039	0.038	0.031
	Minimum	0.040	0.028	0.016	0.011	0.011
	Maksimum	0.080	0.076	0.060	0.074	0.060

Sumber: Data Sekunder Puslitbang Jalan Kimpraswil (2003)

#### b. Konsentrasi CO

Konsentrasi CO rata-rata tertinggi untuk pengukuran 24 jam untuk daerah ada tanaman di titik pengamatan A (STA.53.20) terjadi pada ketinggian 1.50 m yaitu sebesar 2.96 ppm, di titik pengamatan B (STA.86.50) pada ketinggian 1.50 m sebesar 3.06 ppm. Pada daerah tidak ada tanaman konsentrasi CO rata-rata tertinggi di titik pengamatan C terjadi pada ketinggian 1.50 m yaitu sebesar 3.28 ppm, di titik pengamatan D konsentrasi CO rata-rata tertinggi terjadi pada ketinggian 1.50 m yaitu sebesar 3.58 ppm, di titik pengamatan E (STA.218.70) terjadi pada ketinggian 1.50 m yaitu sebesar 3.71 ppm dan di

titik pengamatan titik F (STA.240.70) konsentrasi CO rata-rata terjadi pada ketinggian 1.50 m yaitu sebesar 3.79 ppm.

Berdasarkan PP No.41 tahun 1999 Baku Mutu Udara Ambien konsentrasi CO untuk waktu pengukuran 24 jam adalah sebesar  $10.000 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  (9 ppm), yang berarti konsentrasi CO pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo masih dibawah Baku Mutu.

Tabel.4.5 Konsentrasi CO rata-rata, Maksimum dan Minimum Jl.Prof.Dr.Soepomo Jakarta

Titik Pengukuran	Uraian	Konsentrasi CO (ppm)				
		1.50 m	3.00 m	4.50 m	6.00 m	7.50 m
A STA.53.20	Rata-rata	2.96	2.72	2.63	2.68	2.19
	Minimum	1.15	0.82	1.12	0.40	0.19
	Maksimum	5.13	5.12	5.11	4.43	3.82
B STA.86.50	Rata-rata	3.06	2.81	2.66	2.27	2.24
	Minimum	0.72	0.92	0.71	0.14	0.27
	Maksimum	5.39	4.51	4.43	4.48	5.33
C STA.195.70	Rata-rata	3.28	3.14	2.98	2.81	2.50
	Minimum	1.61	1.78	1.60	1.83	1.59
	Maksimum	5.10	5.10	5.10	4.18	3.89
D STA.209.90	Rata-rata	3.58	3.48	3.19	3.01	2.86
	Minimum	2.13	1.78	1.60	1.79	0.31
	Maksimum	5.15	5.10	5.10	5.15	6.07
E STA.218.70	Rata-rata	3.71	3.60	3.31	3.17	3.06
	Minimum	3.04	2.92	2.25	2.01	1.84
	Maksimum	5.10	5.08	5.17	4.56	4.20
F STA 240.70	Rata-rata	3.79	3.66	3.41	3.23	3.14
	Minimum	2.61	2.00	1.79	2.13	2.13
	Maksimum	5.10	5.10	4.57	4.20	4.20

Sumber: Data Sekunder Puslitbang Jalan Kimpraswil (2003)

#### 4.2.3. Kondisi Visual Tanaman

Dari data visual tanaman pada lokasi penelitian yaitu mulai dari STA. 53.20 sampai dengan STA. 240.70 menunjukkan bahwa jarak pohon ketepi perkerasan rata-rata sebesar 3.00 m, pohon di lokasi penelitian termasuk jenis pohon berukuran besar dengan diameter

pohon rata-rata sebesar 38.00 cm, rata-rata ketinggiannya cukup tinggi dengan tinggi awal daun rata-rata 3.00 m dari permukaan tanah dan tinggi total pohon rata-rata 8.00 m sedangkan pohon tersebut percabangannya cukup banyak dan umumnya cukup rimbun dimana kerimbunannya mempunyai tinggi vertikal rata-rata 5.00 m dan horizontal 8.00 m, serta persentase kerimbunan daunnya rata-rata sebesar 72.03% dengan volume kerimbunan daunnya rata-rata sebesar 106.11 m<sup>3</sup>.

Tabel 4.6 Kondisi visual Tanaman di ruas Jalan Soepomo Jakarta

Uraian	Jarak pohon ketepi perkerasan	Diameter Batang	Tinggi Awal Daun	Tinggi total pohon	Kerimbunan				
					(V)	(H)	(rata <sup>2</sup> )	Persen tase	Volume
					(m)	(m)	(m)	(%)	(m <sup>3</sup> )
Rata-rata	3.00	38.00	3.00	8.00	5.00	8.00	7.00	72.00	106.00
Minimal	2.00	18.00	2.00	6.00	2.00	3.00	3.00	25.00	10.00
Maksimal	4.50	65.00	5.00	15.00	10.00	13.20	9.00	90.00	266.00

Sumber: Data Sekunder Puslitbang Jalan Kimpraswil (2003)

### 4.3. Analisa Hasil dan Pembahasan

#### 4.3.1. Volume Lalu Lintas selama 24 Jam

Jumlah kendaraan yang beroperasi per satuan waktu dinyatakan dalam volume lalu lintas dengan satuan *passenger car unit* (pcu/jam) atau satuan mobil penumpang (smp/jam). Dalam kaitannya dengan pencemaran udara dan banyaknya emisi yang dikeluarkan oleh tiap kategori kendaraan maka untuk menetapkan volume lalu lintas, yang diperhitungkan adalah hanya untuk kendaraan yang bermesin bensin, yaitu kategori kendaraan penumpang (kendaraan pribadi dan kendaraan umum) dan sepeda motor. Dengan demikian laju emisi yang diperhitungkan hanya yang berasal dari kendaraan

berbahan bakar bensin. Pengandaian ini dapat diterima karena volume kendaraan bermesin diesel adalah relatif sedikit dan konsentrasi gas buangnya adalah jauh lebih kecil dibandingkan dengan kendaraan bermesin bensin.

Volume kendaraan per jam dihitung menggunakan persamaan 2.13 yaitu berikut:

$$n = n_{LV} \times f_{LV} + n_{HV} \times f_{HV} + n_{MC} \times f_{MC} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dari hasil perhitungan didapat volume lalu lintas per jam (pcu/jam) untuk ruas jalan Prof.Dr.Soepomo adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Volume Lalu Lintas (pcu/jam) jalan Prof.Dr.Soepomo.

No.	Jenis Kendaraan	Jumlah kendaraan	Faktor konversi (f)	Volume lalu lintas (smp/jam)
1.	Kend.penump (LV)	1.644	1.0	1.644
2.	Bus (HV)	46	1.45	67
3.	Truk Besar dan kecil (HV)	126	1.45	183
4.	Sepeda Motor (MC)	594	0.6	356
Jumlah				2.250

Sumber: Hasil Perhitungan (2004)

#### 4.3.2. Emisi Lalu Lintas

Untuk menghitung emisi rata-rata per kendaraan digunakan persamaan sebagai berikut:

$$qNO_2 = 0,0005 v^2 - 0,0656 v + 3,0586 \dots\dots\dots(4.2)$$

dan

$$qCO = 867,92 v^{-0,8648} \dots\dots\dots(4.3)$$

sedangkan  $v$  merupakan kecepatan rata-rata kendaraan, berdasarkan hasil pengukuran adalah kecepatan rata-rata kendaraan yang melintas di ruas jalan Soepomo Jakarta adalah

sebesar 30 km/jam. Sehingga emisi lalu lintas yang dikeluarkan oleh volume kendaraan (n) satuan mobil penumpang (smp/jam) pada ruas jalan untuk seluruh kendaraan didapat dari persamaan berikut:

$$Q/L = q \cdot n \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

baik untuk NO<sub>2</sub> dan CO dengan satuan g/km.det,

Dari persamaan 4.4 diatas, emisi yang yang dikeluarkan oleh kendaraan berbanding lurus dengan jumlah kendaraan, yang berarti emisi lalu lintas akan meningkat setiap waktu seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan yang melintas di ruas jalan tersebut.

Tabel 4.8 Emisi NO<sub>2</sub> dan CO pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta

waktu	Total kend rata <sup>2</sup> 24 jam (kend)	Volume kend (per jam)	Kec kend (km/jam)	Emisi NO <sub>2</sub> per Kend (gr/km)	Emisi NO <sub>2</sub> Lalu lintas (gr/km.det)	Emisi CO per Kend (gr/km)	Emisi CO Lalu lintas (gr/km.det)
00.00 - 24.00	2,410	2,250	30	2.141	1.338	45.821	28.64

Sumber: Hasil Perhitungan (2004)

Berdasarkan jumlah lalu lintas sebesar 2.250 smp/jam dengan kecepatan kendaraan rata-rata sebesar 30 km/jam, maka didapat emisi lalu lintas untuk ruas jalan Prof.Dr.Soepomo untuk NO<sub>2</sub> adalah 2.249 g/km.det atau 2,249 g/m.det yang berarti setiap 1 (satu) meter kendaraan yang melintas akan mengeluarkan emisi sebesar 2,249 gram setiap satu detik.

Sedangkan emisi CO yang dikeluarkan oleh kendaraan setiap 1 (satu) meter kendaraan yang melintas akan mengeluarkan emisi sebesar 0.04814 gram setiap satu detik..

#### 4.3.3. Evaluasi Model Dispersi NO<sub>2</sub> dan CO pada Ruas Jl.Prof.Dr.Soepomo

Model dispersi berperan penting sebagai pembantu dalam pengelolaan kualitas udara. Namun demikian secanggih apapun model yang dikembangkan sangat bergantung pada masukkan (input) seperti laju emisi, parameter lalu lintas dan variabel meteorologi yang harus memadai.

Model dispersi Gaussian untuk sumber garis merupakan salah satu model kualitas udara yang dapat digunakan untuk memprediksi penyebaran konsentrasi polutan pada suatu ruas jalan. Model dispersi NO<sub>2</sub> dan CO di udara yang digunakan pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta adalah :

$$C_{(x,t)} = \frac{2Q/L}{(2\pi)^{1/2} u \sigma_z} \left[ \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \dots\dots\dots(4.5)$$

keterangan:

Q/L = laju emisi dimana persamaan emisinya adalah seperti ditunjukkan oleh persamaan

4.4 diatas yaitu :  $Q/L = q \cdot n$  . (g/km.det)

u = kecepatan angin (m/det)

z = ketinggian reseptor yang merupakan titik yang diukur konsentrasinya.

Pada model Gaussian terdapat koefisien dispersi  $\sigma_z$ , dimana pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo belum diketahui nilainya. Penggunaan data  $\sigma_z$  yang diperoleh dari studi-studi sebelumnya belum tentu dapat sesuai. Harga numerik  $\sigma_z$  merupakan fungsi kecepatan angin dan stabilitas atmosfer, meskipun koefisien dispersi dapat diperoleh melalui pelacakan monitoring pelepasannya ke atmosfer, namun biasanya diestimasi dengan kecepatan angin rata-rata dan kestabilan atmosfer.

Lebih lanjut dapat dijelaskan pada model persamaan Gaussian tersebut volume kendaraan sebagai sumber emisi berbanding lurus dengan konsentrasi NO<sub>2</sub> dan CO diudara, sementara kecepatan angin berbanding terbalik, dimana dengan kecepatan angin yang tinggi proses sebaran NO<sub>2</sub> dan CO diudara semakin cepat sehingga proses pengenceran konsentrasi NO<sub>2</sub> dan CO diudara semakin terjadi.

Berdasarkan volume lalu lintas hasil sebesar 2.250 smp/jam dengan kecepatan rata-rata kendaraan yang melintas sebesar 30 km/jam, dan kondisi cuaca dengan kecepatan angin rata-rata 1.0 m/det dengan arah dominan timur dengan model dispersi Gaussian

maka dapat diprediksi penyebaran konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan CO di titik-titik pengamatan dengan masing-masing titik ketinggian 1.50 m, 3.00 m, 4.50 m, 6.00 m dan 7.50 m pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Konsentrasi  $\text{NO}_2$  di ruas Jl.Prof.Dr.Soepomo Jakarta

z (m)	Q/L (g/km det)	2Q/L (g/km det)	$2\pi^{1/2}$	U (m/det)	$\sigma_z$ (m)	C(x,z) (g/m <sup>3</sup> )	Konsentrasi $\text{NO}_2$	
							( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	(ppm)
1.50	1.338	0.0027	2.51	1.0	10.0	0.00011	105.570	0.056
3.00	1.338	0.0027	2.51	1.0	10.0	0.00010	102.067	0.054
4.50	1.338	0.0027	2.51	1.0	10.0	0.00010	96.484	0.051
6.00	1.338	0.0027	2.51	1.0	10.0	0.00009	89.177	0.047
7.50	1.338	0.0027	2.51	1.0	10.0	0.00008	80.590	0.043

Sumber: Hasil Pengolahan (2004)

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Konsentrasi CO di ruas Jl.Prof.Dr.Soepomo Jakarta

z (m)	Q/L (g/km det)	2Q/L (g/km det)	$2\pi^{1/2}$	U (m/det)	$\sigma_z$ (m)	C(x,z) (g/m <sup>3</sup> )	Konsentrasi CO	
							( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	(ppm)
1.50	28.636	0.0573	2.51	1.0	10.0	0.00452	4,519.61	3.949
3.00	28.636	0.0573	2.51	1.0	10.0	0.00437	4,369.62	3.818
4.50	28.636	0.0573	2.51	1.0	10.0	0.00413	4,130.61	3.610
6.00	28.636	0.0573	2.51	1.0	10.0	0.00382	3,817.81	3.336
7.50	28.636	0.0573	2.51	1.0	10.0	0.00383	3,833.53	3.350

Sumber: Hasil Pengolahan (2004)

Untuk mengetahui seberapa besar perbedaan konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan CO di udara ambient dengan hasil pengukuran maka dilakukan perbandingan antara hasil simulasi

model Gaussian dengan hasil pengukuran pada titik pengamatan pada ketinggian masing-masing 1.50 m, 3.00 m, 4.50 m, 6.00 m dan 7.50 m pada lokasi yang tidak ada tanaman.

Adapun perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

Table 4.11 Perbandingan Konsentrasi NO<sub>2</sub> 24 jam Hasil Perhitungan dan Pengukuran

Tinggi titik pengamatan (m)	Konsentrasi NO <sub>2</sub> (perhitungan)		Konsentrasi NO <sub>2</sub> (pengukuran)		Penyimpangan (%)
	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	(ppm)	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	(ppm)	
1.50	105.570	0.056	104.58	0.056	0.94
3.00	102.067	0.054	88.52	0.047	13.27
4.50	96.484	0.051	74.10	0.039	23.20
6.00	89.177	0.047	71.83	0.038	19.45
7.50	80.590	0.043	58.63	0.031	27.25

Sumber: Hasil Perhitungan (2004)

Table 4.12 Perbandingan Konsentrasi CO 24 jam Hasil Perhitungan dan Pengukuran

Tinggi titik pengamatan (m)	Konsentrasi CO (perhitungan)		Konsentrasi CO (pengukuran)		Penyimpangan (%)
	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	(ppm)	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	(ppm)	
1.50	4,519.61	3.95	4,335.69	3.79	4.07
3.00	4,369.62	3.82	4,185.50	3.66	4.21
4.50	4,130.61	3.61	3,900.84	3.41	5.56
6.00	3,817.81	3.34	3,699.14	3.23	3.11
7.50	3,833.53	3.35	3,591.86	3.14	6.30

Sumber: Hasil Perhitungan (2004)

Penyimpangan hasil simulasi untuk parameter NO<sub>2</sub> terhadap hasil pengukuran pada lokasi yang tidak ada tanaman sebesar antara 0.94 % - 27.25%, sedang untuk parameter CO

terhadap hasil pengukuran pada lokasi yang tidak ada tanaman sebesar antara 4.07 % - 6.30 %.

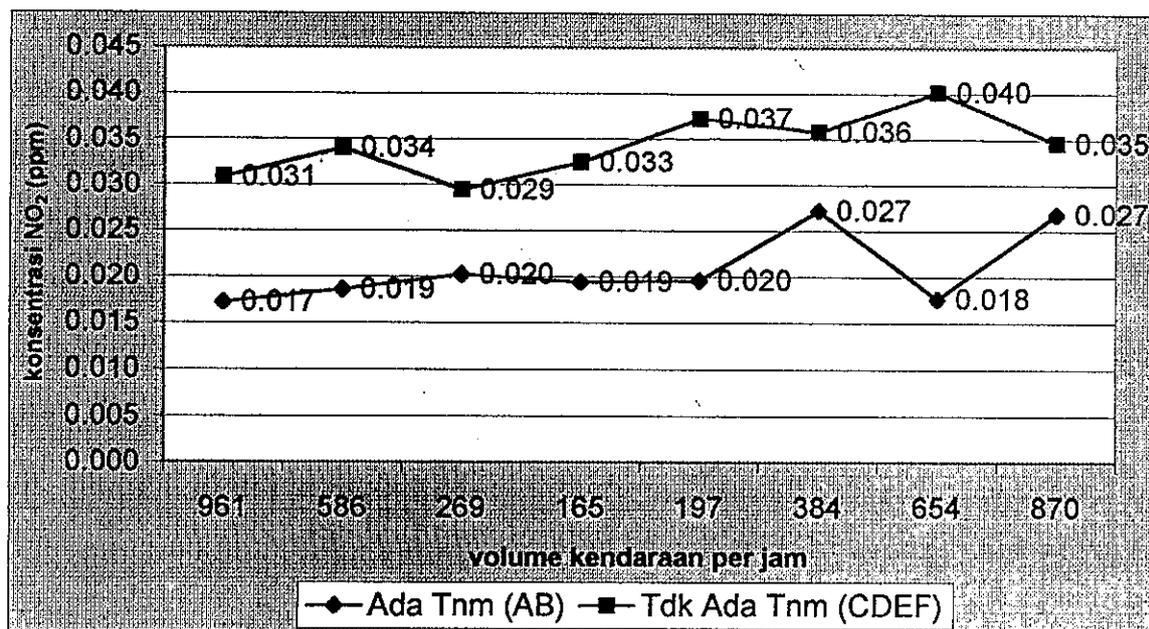
Dari model dispersi tersebut volume kendaraan sebagai sumber emisi berbanding lurus dengan konsentrasi  $\text{NO}_2$  di udara, sementara kecepatan angin berbanding terbalik, dengan kecepatan kendaraan yang tinggi proses sebaran  $\text{NO}_2$  dan CO di udara semakin cepat sehingga proses pengenceran konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan CO di udara terjadi. Hal tersebut disebabkan karena aliran gas yang terkontaminasi polutan keluar dari knalpot kendaraan akan membentuk kolom asap (plume) dan bercampur dengan udara ambient sehingga mengalami pengenceran, dengan adanya aliran udara akan menekan kolom asap searah dengan arah angin.

Stabilitas atmosfer merupakan metode untuk mengklasifikasikan kemampuan atmosfer untuk mengencerkan dan mencampur udara. Stabilitas atmosfer menurut klasifikasi Pasquill ditentukan berdasarkan banyaknya radiasi matahari yang memancar ke permukaan bumi dan kecepatan angin.

Dari hasil perhitungan dispersi  $\text{NO}_2$  dan CO diatas didapat koefisien difusi  $\sigma_z$  sebesar 10 meter, maka model Gaussian untuk ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta tersebut dapat digunakan untuk kondisi udara antara cukup stabil dengan catatan kondisi siang hari pada musim panas dengan sedikit awan atau siang hari cerah dengan matahari  $35^\circ - 36^\circ$  di atas horizon. Dengan adanya gaya pendorong (driving force) adveksi pada emisi polutan akan semakin mempermudah polutan untuk menyebar.

#### **4.3.4. Tingkat Pengurangan Konsentrasi $\text{NO}_2$ dan CO.**

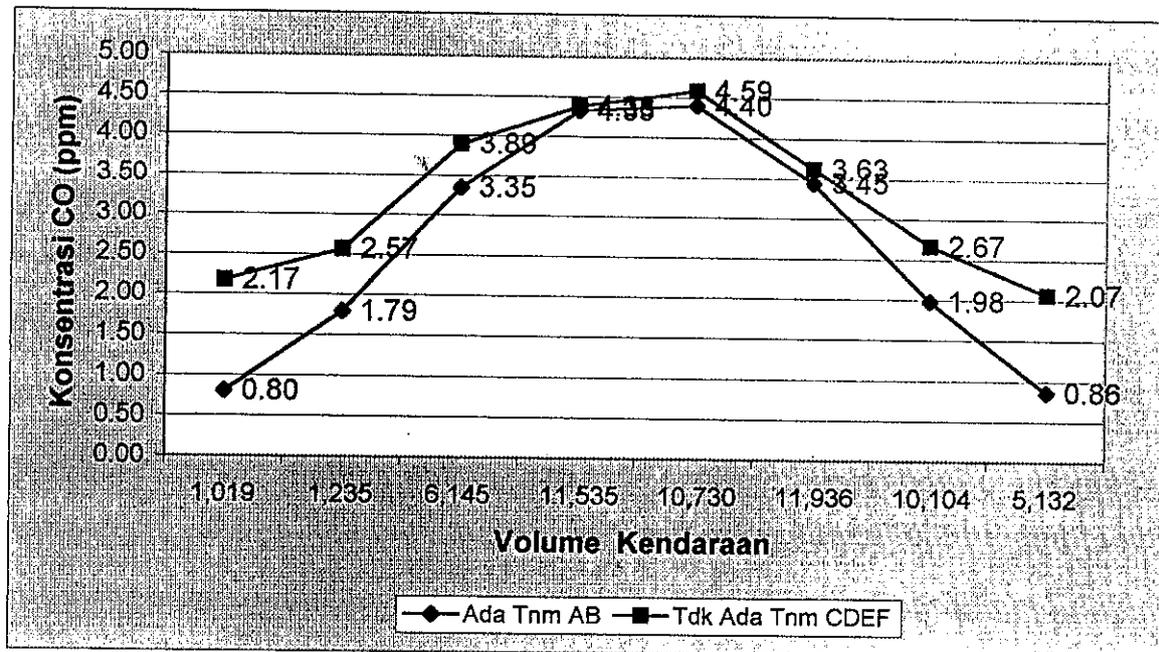
Berikut adalah hubungan antara volume kendaraan dengan perubahan konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan CO di udara pada daerah ada tanaman (titik AB) dan daerah tidak ada tanaman (titik CDEF).



**Gambar 4.9** Korelasi antara Volume rendah kendaraan dengan perubahan konsentrasi  $\text{NO}_2$  pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo pada pukul 23.00 – 07.00 WIB

Dari grafik gambar 4.9 menunjukkan bahwa pada saat jumlah volume kendaraan yang melintas pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta rendah antara 165 – 961 kendaraan per jam dari malam hari sampai dengan pagi hari yaitu dari pukul 23.00 – 07.00 WIB, perbedaan konsentrasi  $\text{NO}_2$  pada daerah ada tanaman dan tidak ada tanaman antara 0.008 ppm sampai dengan 0.023 ppm atau rata-rata 0.013 ppm (39%) yang berarti tingkat penyerapan konsentrasi  $\text{NO}_2$  oleh tanaman dipinggir jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta pada saat volume kendaraan dibawah 1000 kendaraan per jam rata-rata sebesar 0.013 ppm atau 39%, hal menunjukkan bahwa tanaman Mahoni dengan ketinggian rata-rata 8.00 m dan persentase kerimbunan sebesar 72% yang ada di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo cukup efektif dalam menyerap polutan Nitrogen oksida ( $\text{NO}_2$ ). Kemungkinan kedua adalah polutan  $\text{NO}_2$  sebelum menyebar atau mencapai ke tanaman (kerimbunan daun) jatuh dit tanah, hal

tersebut disebabkan berat molekul (BM) Nitrogen oksida ( $\text{NO}_2$ ) lebih berat dari berat molekul udara.



**Gambar 4.10** Korelasi antara Volume kendaraan dengan perubahan konsentrasi CO pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo selama 24 Jam.

Gambar 4.10 menunjukkan konsentrasi CO hasil pengukuran 24 jam pada saat volume lalu lintas rata-rata dibawah 6000 kendaraan/jam mempunyai perbedaan yang cukup besar yaitu rata-rata 2.27 ppm atau 33% dibandingkan dengan volume lintas yang padat (>6000 kendaraan/jam) yang mempunyai perbedaan konsentrasi CO yang kecil sekali yaitu sebesar 0.73 ppm (3.79%).

Dari kedua analisa diatas menunjukkan bahwa pada saat volume kendaraan rendah, tanaman jenis Mahoniyang terdapat di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo cukup efektif dalam penyerapan polutan  $\text{NO}_2$  dan CO di udara akibat emisi gas buang dari kendaraan bermotor, hal ini dikarenakan jarak pohon ketepi perkerasan jalan di lokasi tersebut cukup dekat yaitu antara 2.00 – 5.00 m sehingga kerimbunan daun pohon tersebut menutupi badan jalan

ditambahkan tinggi awal daun pohon tersebut cukup rendah yaitu antara 2.00 m sampai dengan 5.00 m dan tinggi pohon di sepanjang jalan tersebut antara 6.00 m sampai dengan 15.00 yang berarti tinggi kerimbunan antara 2.00 m – 10.00 m. Pohon disepanjang jalur hijau termasuk termasuk jenis pohon besar dengan diameter batang antara 18.00 – 65.00 cm.

Secara umum tanaman khususnya pohon sebagai menyerap gas polutan, pada saat kontak dengan tanaman, gas kemungkinan mengelilingi atau larut dalam permukaan bagian dalam atau diambil oleh tanaman melalui stomata. (Smith et all 1979).

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari analisis dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan jumlah lalu lintas sebesar 2.250 smp/jam dengan kecepatan kendaraan rata-rata sebesar 30 km/jam, maka didapat emisi lalu lintas untuk ruas jalan Prof.Dr.Soepomo untuk NO<sub>2</sub> adalah sebesar 2.249 g/km.det atau 2,249 g/m.det., sedangkan emisi CO yang dikeluarkan oleh kendaraan yang melintas akan mengeluarkan emisi sebesar 0.04814 g/km detik.
2. Besarnya penyimpangan antara hasil prediksi dispersi model Gaussian untuk kondisi udara stabil dan kecepatan angin 1.0 m/detik dengan konsentrasi polutan hasil pengukuran pada seluruh ketinggian titik pengamatan untuk konsentrasi polutan NO<sub>2</sub> adalah sebesar antara 0.94 % - 27.25%, sedangkan untuk CO antara 3.11% sampai dengan 6.3%
3. Penyebaran konsentrasi NO<sub>2</sub> dan CO yang ditimbulkan oleh aktivitas kendaraan di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo pada masing-masing ketinggian titik pengamatan masih dibawah baku mutu 24 jam sebesar 0.075 ppm atau 150 µg/Nm<sup>3</sup>.
4. Pada saat jumlah volume kendaraan yang melintas pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta rendah dibawah 1000 kendaraan per jam dari malam hari sampai dengan pagi hari yaitu dari pukul 23.00 – 07.00 WIB, tingkat penjerapan konsentrasi NO<sub>2</sub> oleh tanaman dipinggir jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta rata-rata sebesar 0.013 ppm atau

39%, hal menunjukkan bahwa tanaman Mahoni dengan ketinggian rata-rata 8.00 m dan persentase kerimbunan sebesar 72% yang ada di ruas jalan Prof.Dr.Soepomo cukup efektif dalam menjerap polutan Nitrogen oksida ( $\text{NO}_2$ ).

## 5.2. Saran

1. Model Gaussian pada ruas jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta dapat digunakan untuk kondisi siang hari dengan sedikit awan atau cerah.
2. Berdasarkan pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor yang menyebabkan kemacetan yang berakibat peningkatan konsentrasi polutan (Bambang Suhartono, 2002) maka dapat diupayakan pengendalian atau pengurangan konsentrasi polutan ( $\text{NO}_2$  dan CO) dengan penanaman pohon disisi jalan Prof.Dr.Soepomo Jakarta.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustini M, "*Identifikasi Arsitektur dan Kerapatan Stomata pada 25 Jenis Pohon Suku Leguminose untuk Elemen Lansekap Tepi Jalan*", Institut Pertanian Bogor, Fakultas Pertanian Bogor, Fakultas Pertanian, 1994.
- Arnold HF, "*Trees in Urban Landscape. New York*", 1980, Von Reinhold Co.
- Bernatzky A, "*Tree Ecology and Prservation. Development Agriculture and Managed-Forest Ecology 2*". 1980, Elsevier Scientific Pub.Co, New York
- Biro Bina Lingkungan Hidup DKI Jakarta, 1995. Rangkuman Deskripsi (Buku II) "*Neraca Kualitas Lingkungan Hidup Daerah*", Pemda DKI Jakarta, 112 hal.
- Dahlan EN, 1992 "*Hutan Kota – Untuk Pengelolaan dan Peningkatan Lingkungan Hidup*". IPB – Asosiasi Pengusaha Hutan Indonesia (APHI), 1992, 93 Hal. Jakarta
- Fakuara MY, "*Hutan Kota dan Permasalahannya*" 1987, Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor, Bogor, 60 hal.
- Fardiaz S., "*Polusi Air dan Udara*" 1992, Kanisius, Yogyakarta
- Andani S & ED Purbayanti, (trans) AH Fitter, RK Hay, 1994, "*Fisiologi Lingkungan Tanaman*", Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Gandasari D, "*Identifikasi Arsitektur dan Kerapatan Trikoma pada Jenis Pohon untuk Lansekap Tepi Jalan*" 1994, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Gerard Kiely, 1998, "*Environmental Engineering*" McGraw-Hill Companies, New York.
- Grey GW, FJ Daneke, "*Urban Forestry*", 1978, Jhon Willey and Sons, Inc, New York.
- Gunarta Samsi I.G.W.et all, 1999, "*Tata Cara Prediksi Polusi Udara Skala Mikro Akibat Lalu Lintas*", Dep.Pekerjaan Umum.
- Hakim R, "*Unsur Perancangan Dalam Arsitektur Lansekap*", 1993, Bumi Aksara Jakarta,.
- Heck WW, CS Brandt, "*Effect of Air Pollution (editorial) Am J Air Pollution*" 1977; 2: 157-229.
- Hill AC, "*Vegetation a Sink for Atmospheric Pollutants*", 1971, Am J Air Pollutan Control Assoc 21:341-436

- John G.R and Wooten D.C, 1980 “ *Environmental Impact Analysis Handbook*”, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Kozlowski, “*Impact of Air Pollution on Forest Ecosystem*”, 1980, BioScience Vol.30, No. 2: 1980.
- Kusnoputranto H, “*Dampak Pencemaran Udara dan Air terhadap Kesehatan dan Lingkungan*”, 1996, Jurnal Lingkungan dan Pembangunan, 16:3: 210 – 224.
- Leopold AC, PE Kriederman, , “*Plant Growth and Development*”, 1975, Tata McGraw-Hill Pub.Co.Ltd. New Delhi, 465p,
- Lindberg, S E, R.C. Hariss and R.Turner, “*Atmospheric Deposition of Metals to Forest*,” 1982, Vegetation Sience. Vol.215.
- K Katawinata, S Danimihardja & U Soetisna, (trans) AR Loveless, “*Prinsip-prinsip Tumbuhan untuk Daerah Tropis*”, 1991, Penerjemah, Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta,
- Michael WJ, WA Feder “*Biomonitoring Air Polltion with Plants*”, 1980, London applied Science Publisher.
- Nasrullah N 1997 “*Studi Kemampuan Tanaman Jalan Raya dalam Menyerap Polusi Udara (NO<sub>2</sub>)*” 1995-1997 Laporan Riset, Riset Unggulan Terpadu III, Bidang Teknologi Perlindungan Lingkungan, Bogor.
- Nebel BJ, RT.Wright. 1993, Environmental Science – The Way the World Works 4<sup>th</sup> Ed.Prenctice Hall, New Jersey.715p.
- Prawiranata W., S Harran, P Tjondronegoro, “*Dasar-dasar Fisiologi Tanaman*”, 1981, Institut Pertanian Bogor.
- Purnomo Hadi S, “*Peran Ruang Terbuka Hijau dalam Pengendalian Kualitas Udara di DKI Jakarta*” (Disertasi), 1995, Bogor, Institut Pertanian Bogor.
- Smith,W.H, “*Air Pollution and Forest: Interaction between Air Contaminants*”, 1981, (Spriger-Verlag, Ney York)
- Direktorat Jenderal Bina Marga, “*Standart Geometrik Jalan Perkotaan*” 1996, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Starkman FS, “*Cumbusion-general Air Pollution*”, 1969, Plenum Press, New York:
- Steinfeld, JH, 1986. “*Atmospheric Chemistry and Physic of Air Pollution*”John Wiley & Sons, New York.
- Suryowinoto SM, “*Flora Eksotika, Tanaman Peneduh*”, 1997, Kanisius, Yogyakarta