

POLA PENYEBARAN GAS NO₂ DI UDARA AMBIEN KAWASAN UTARA KOTA SEMARANG PADA MUSIM KEMARAU MENGGUNAKAN PROGRAM ISCST3

Mochtar Hadiwidodo^{*)}, Haryono S Huboyo^{*)}

ABSTRACT

North district of Semarang City is an area characterized by dense population, congested transportation, and high industry activities. Urban activities in this area are predicted produce enormous pollutant one of them is NO₂. This gas is hazardous for human health, and can cause death even that concentration exceed standard level 150 µg/m³. Inventory emission is used to identify sources that produce NO₂ gas and quantify the concentration. ISCST3 program was used as a tool to recapitulate the dispersion of NO₂ gas in ambient from its sources to the potent receptor. Combined with Surfer program, the result was easily visualized through NO_x isopleth contour overlaid to land use map. The result of this observation showed that total emission of NO₂ gas in area observation is 0,001445 ton/year where transportation contributes 91,68 %, followed by industry 8,31 %, and domestic 0,01 %. Dispersion pattern of NO₂ gas in ambient is mainly affected by calm condition of wind making NO₂ gas is concentrated in 3 regions i.e Pindrikan Kidul, Peterongan, and Tambakrejo.

Keywords: NO₂ gas, inventory emission, dispersion pattern

PENDAHULUAN

NO_x termasuk polutan kriteria yang diemisikan dari berbagai sumber di suatu kawasan terutama sektor transportasi. Sebagai gambaran umum, sektor transportasi menyumbang pencemar NO_x sebesar 69% di perkotaan, diikuti industri dan rumah tangga (Soedomo, 1992). Gas NO₂ ini sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena dapat menyebabkan gangguan pernapasan (penurunan kapasitas difusi paru-paru), juga dapat merusak tanaman. Selain itu juga mengurangi jarak pandang dan resistansi di udara (Peavy, 1986). Menurut catatan, sekitar 10% pencemar udara setiap tahun adalah nitrogen oksida. Ada tujuh kemungkinan hasil reaksi bila nitrogen bereaksi dengan oksigen, antara lain adalah NO, NO₂, N₂O, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅, dan NO₃. Dari semuanya yang jumlahnya cukup banyak hanyalah tiga, yaitu N₂O, NO, dan NO₂, dan yang menjadi perhatian dalam pencemaran udara hanyalah NO dan NO₂. Kadar NO₂ di dalam NO_x sekitar 10% (Pitts, 1986).

Studi inventori emisi tahun 1992 di Kota Semarang didapatkan bahwa pencemar udara NO_x 82 % berasal dari sektor transportasi, 16,3% dari sektor domestik, 0,5% dari industri, dan sisanya berasal dari lain-lain (Soedomo, 1992). Kawasan Utara

Kota Semarang yang relatif datar merupakan dataran yang terdiri atas daerah aluvial pantai, sungai. Dibagian Barat Daya merupakan punggung lereng perbukitan, dengan bentuk lereng yang umumnya datar hingga sangat landai dengan kemiringan 0-5%. Luas kawasan ini sekitar 164,9 km² atau 42,63% dari luas Kota Semarang (Usman, 2001). Kawasan Utara Semarang merupakan jantung kota yang memiliki penduduk yang padat. Hampir sebagian besar aktivitas warga Semarang dilakukan di kawasan ini, mulai dari kawasan industri, bandara, terminal dan pusat perkantoran.

Saat ini kawasan utara Kota Semarang belum terdapat data tentang sebaran pencemaran NO_x baik data primer maupun sekunder. Kota Semarang telah memiliki Stasiun Pengukuran Kualitas Udara (SPKU) PM₁₀, NO_x, dan SO₂ di tiga lokasi yaitu Tugu, Pedurungan dan Banyumanik. Namun hanya SPKU Pedurungan dan Banyumanik yang beroperasi. Konsentrasi NO_x ambien tahun 2003 untuk musim kering (bulan Juli – Oktober 2003) tercatat rata-rata 31.58 µg/m³ (Banyumanik) dan 39.56 µg/m³ (Pedurungan). Sedang nilai minimum ada di Banyumanik sebesar 9.78 µg/m³ dan terbesar di Pedurungan sebesar 71.57 µg/m³. Nilai ini memang masih dibawah baku mutu ambien NO_x tahunan Propinsi Jateng NO_x sebesar 100 µg/Nm³ (Kep. Gubernur Jateng No. 8/ 2001).

^{*)} Program Studi Teknik Lingkungan FT Undip
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang

Program ISCST3 (*Industrial Source Complex Short Term 3*) mampu memodelkan emisi dari berbagai sumber (titik, garis, area dan volume) dengan dasar persamaan *steady-state* Gaussian (USEPA, 1995). Model ini merupakan model referensi USEPA dalam model dispersi dan telah banyak digunakan di belahan dunia termasuk yang dilakukan di Bandung (Martiany, 2001). Model ini menggunakan data meteorologi perjam untuk mengantisipasi fenomena *plume rise*, transport, difusi, dan deposisi. Asumsi yang digunakan dalam model ini adalah : final *plume rise*, *stack tip downwash*, *buoyancy induced dispersion*, tidak memperhitungkan data-data yang hilang, default wind profile exponent, default in vertical temperatur gradient, "upper bound" value for supersquat building (USEPA, 1995).

Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui persebaran polutan (distribusi spasial) NOx di Kawasan Utara Semarang (koordinat UTM 9.223.000 – 9.235.500 dan 420.500 – 448.000) pada musim kemarau, yaitu bulan September – Oktober 2004 dengan model ISCST3. Dengan model ini diharapkan daerah-daerah dengan konsentrasi NOx yang tinggi dapat diidentifikasi.

METODOLOGI

Untuk membuat analisis sebaran NOx dengan bantuan program ISCST, ada dua tahap utama yang harus dilakukan yaitu membuat input program dan memvisualkan tampilan hasil program. Untuk membantu tampilan visual digunakan program Surfer 7.0.

Data input sumber program terdiri dari 2 input, yaitu input emisi dan input lokasi dalam bentuk koordinat. Input-input ini memerlukan data sebagai berikut :

1. Data meteorologi (kecepatan dan arah angin, kelembaban, curah hujan, tinggi pencampuran (*mixing height*), kelas stabilitas atmosfer) yang diambil dari Meteorologi Maritim Semarang.
2. Data Industri (jumlah industri sedang dan besar, jenis industri dan produk yang dihasilkan, kapasitas produksinya, lokasi industri) yang didapat dari Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kota Semarang
3. Data Domestik/rumah tangga (jumlah penduduk, rata-rata pemakaian bahan

bakar/liter/orang/tahun). Bahan bakar yang digunakan adalah minyak tanah, LPG, ataupun kayu bakar. Data-data didapatkan dari Biro Pusat Statistik dan Pertamina.

4. Data Transportasi (ruas jalan utama dan terpadat didata : panjang, lebar, jenis dan jumlah kendaraan yang melintasinya). Data didapat dari Dinas Pekerjaan Umum dan Dinas Perhubungan.

Daerah Penelitian

Peta yang dibutuhkan berupa peta topografi, tata guna lahan untuk 9 kecamatan yaitu Kecamatan Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang Selatan, Semarang Timur, Gayamsari, Pedurungan, dan Genuk. Peta ini didapat dari Bappeda Kota Semarang.

Batas daerah penelitian ditentukan berdasarkan daerah administrasi yaitu Kecamatan Tugu, Kecamatan Semarang Barat, Kecamatan Semarang Selatan, Kecamatan Semarang Tengah, Kecamatan Semarang Timur, Kecamatan Semarang Utara, Kecamatan Gayamsari, Kecamatan Pedurungan, dan Kecamatan Genuk. Daerah –daerah tersebut dijadikan daerah penelitian karena daerah–daerah tersebut cukup padat baik dilihat dari segi penduduk, transportasi, dan industri sehingga diperkirakan banyak memberikan kontribusi terhadap pencemaran udara. Pada umumnya daerah-daerah tersebut merupakan daerah perumahan kecuali daerah Kecamatan Tugu dan Kecamatan Genuk yang lebih didominasi oleh sektor industri. Selain itu daerah-daerah tersebut memiliki topografi yang cenderung datar. Hal ini sangat penting mengingat daerah yang bertopografi atau yang perbedaan elevasinya tinggi akan dapat mempengaruhi penyebaran konsentrasi gas pencemar.

Data Faktor Emisi

Faktor-faktor emisi yang dibutuhkan adalah faktor emisi industri, faktor emisi hasil buangan bahan bakar rumah tangga, faktor emisi hasil buangan bahan bakar kendaraan bermotor. Faktor emisi ini yang digunakan adalah dari WHO, 1985 untuk emisi rumah tangga dan kendaraan

bermotor dan USEPA,2001 untuk emisi dari sektor industri.

Validasi model

Dilakukan pengukuran konsentrasi ambien di beberapa titik di daerah penelitian digunakan midget impinger bekerjasama dengan BPPI (Balai Penelitian dan Pengembangan Industri) Kota Semarang . Tempat sampling ada di LIK Bugangan, Perumahan Tlogosari, di perempatan Jalan Thamrin - Jalan Pandanaran, dan dilakukan selama 24 jam. Setelah pengambilan sampel udara kemudian dianalisa dengan alat spektrofotometer di laboratorium dengan metode arsenite (Saltzman).

Perhitungan presentase kesalahan (percent error) yang terjadi, dengan menggunakan persamaan :

$$E = \frac{|a-b|}{a} \times 100\%$$

dengan

a = data hasil pengukuran di lapangan

b = data hasil simulasi model

E = persentase kesalahan

Nilai E dari persamaan di atas menunjukkan besarnya perbedaan data hasil pengukuran di lapangan dengan data hasil simulasi model.

Perhitungan input emisi:

Sumber titik

Sumber titik diperuntukkan untuk industri yang potensial mengemisikan pencemar NO_x dalam jumlah besar. Adapun rumus perhitungan emisinya adalah :

$$\text{Emisi polutan/tahun} = \text{kapasitas produksi/tahun} \times \text{faktor emisi industri}$$

Asumsi alat pengendali pencemaran telah terpasang dengan prosentase penyisihan sekitar 99,99%. Tinggi cerobong 18,25 meter, diameter cerobong 0,855 meter, kecepatan alir gas dalam cerobong 2,48 m/dtk, dan temperatur dalam cerobong 306,35 K. Asumsi tersebut diambil dari rata-rata data 4 pabrik yang terletak di daerah penelitian yang disurvei yang dilakukan oleh Bapedalda Kota Semarang tahun 2002 sbb :

Tabel 1. Hasil survey lapangan Bapedal

Lokasi	Diameter Stack (m)	h Stack (m)	V Gas (m/dtk)	Suhu Stack (°K)
SM	0,95	31	2,6	306,5
ISTW	0,4	12	1,8	306,8
IGJS	1,07	10	2,8	305,6
PLTGU	1	20	2,72	306,5
Rata-rata	0,855	18,25	2,48	306,35

Sumber : Bapedalda, 2002

Sumber area

Pada penelitian ini sumber area dihasilkan dari 3 sumber yaitu transportasi, domestik dan industri.

Sumber transportasi

Hanya beberapa jalan yang diukur dan dianggap sebagai jalan utama dan jalan terpadat. Pengukuran volume kendaraan dilakukan selama 12 jam yaitu dari jam 06.00 hingga jam 18.00. Kendaraan yang diukur terdiri dari sepeda motor, mobil berbahan bakar solar, mobil berbahan bakar bensin, dan kendaraan besar seperti bus dan truk. Emisi polutan dari sumber ini didapat dengan menambahkan jumlah kendaraan perjam di dua ruas, sehingga didapat total kendaraan perjam. Nilai ini lalu dikalikan dengan panjang jalan dan faktor emisi kendaraan, tergantung dengan jenis kendaraannya.

$$\text{Emisi/jam} = \text{total kendaraan/jam} \times \text{panjang jalan (km)} \times \text{faktor emisi (kg/km)}$$

Asumsi untuk tinggi pengeluaran zat pencemar adalah sama dengan tinggi knalpot kendaraan yaitu kira-kira 0,3 m.

Daerah pemukiman

Sumber area di daerah pemukiman berasal dari kegiatan rumah tangga yaitu memasak. Bahan bakar untuk memasak yang digunakan di daerah penelitian terdiri dari 3 jenis yaitu kayu bakar, minyak tanah, dan LPG (Liquid Petroleum Gas).

Rumus yang digunakan :

$$\frac{\text{Pemakaian BBRT/ke} = \frac{\text{jmah pddk/ke} \times \text{pemakaian BBRT/ orang/ tahun}}{\text{luas kelurahan}}$$

luas kelurahan

Asumsi tinggi pengeluaran emisi untuk ketiga jenis bahan bakar dianggap sama , yaitu sama dengan rata-rata ketinggian kompor yaitu ± 1 m.

Daerah Kawasan Industri

Dibutuhkan data-data industri yang terdiri dari lokasi industri, jenis industri, produk dari industri tersebut, kapasitas produksi pertahun, dan lain-lain.

Untuk mendapatkan emisi polutan per satuan luas di kawasan industri tersebut adalah dengan menjumlahkan semua emisi polutan tertentu lalu membaginya dengan luas kawasan indutri tersebut.

Koordinat sumber dan reseptor pencemaran NOx

Koordinat yang digunakan dalam lokasi sumber pencemar adalah koordinat kartesius tiga arah yaitu arah x, y, z. Untuk menentukan elevasi daerah yang dimaksud digunakan peta topografi. Format koordinat mengikuti manual program ISCST3.

Sedang untuk lokasi reseptor digunakan sistem koordinat polar pada jarak tiap 500 m sampai ke 14000 m untuk tiap arah 30 derajat di sekeliling daerah penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil inventori emisi yang dilakukan terhadap berbagai sumber emisi berdasar faktor emisi dan kebutuhan bahan bakar didapat dari sumber domestik :

Tabel 2. Akumulasi inventori sumber domestik

Lokasi	Emisi NOx (gr/detik)
Kecamatan Tugu	1.07561E-10
Kecamatan Semarang Barat	2.78982E-09
Kecamatan Semarang Tengah	3.37738E-09
Kecamatan Semarang Selatan	2.20367E-09
Kecamatan Semarang Utara	2.21446E-09
Kecamatan Semarang Timur	1.58307E-09
Kecamatan Gayamsari	1.38243E-09
Kecamatan Pedurungan	1.14198E-09
Kecamatan Genuk	5.03171E-10

Dari sumber transportasi

Berdasar kuantifikasi emisi dari sektor transportasi (dalam hal ini dibatasi pada jalan-jalan utama) didapat emisi sebagai berikut :

Tabel 3. Inventori emisi dari sumber transportasi

Lokasi	Qs gr/dtk/m ²
Jalan Pandanaran	0.000107259
Jalan Ahmad Yani	7.46825E-05
Jalan DR Cipto	7.16451E-05
Jalan M.T. Haryono	8.53503E-05
Jalan Pahlawan	7.11388E-05
Jalan Sriwijaya	9.32121E-05
Jalan DR Sutomo	8.96155E-05
Jalan Indraprasta	0.000123799
Jalan Kaligawe	0.000110091
Jalan Brigjen Sudiarto	0.000104893
Jalan M. Thamrin	6.91181E-05
Jalan Kyai Saleh	7.34562E-05
Jalan Dargo	1.62161E-05
Jalan Bugangan	3.35021E-05
Jalan Kartini	2.4383E-05
Jalan Singosari Raya	3.77455E-05
Jalan Jagalan	1.13861E-05
Jalan Letjen Suprpto	2.35491E-05
Jalan Lamper Sari	1.71252E-05
Jalan Ki Mangun Sarkoro	6.41976E-05
Jalan Erlangga Timur	2.2934E-05

Sektor industri

Beberapa industri yang dijadikan patokan dalam mendapatkan data desain alat pengendali adalah Dan dari data tersebut dapat diperkirakan emisi berbagai sumber industri yang berpotensi mengeluarkan emisi NO_x.

Tabel 4. Inventori emisi sumber industri

Jenis Industri	Emisi (gr/dtk)
Industri Tekstil	0.000152
Industri Plastik	0.000918
Industri Mineral	4.76E-06
Industri Logam	8.22E-06
Industri Kayu	2.61E-06

Catatan : Emisi setelah melewati unit pengendali pencemaran udara

Total Emisi

Dari penghitungan masing-masing sumber emisi diatas, maka didapat total emisi yang terdapat di dalam daerah penelitian, yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini merupakan total emisi yang terdistribusi di daerah penelitian

Tabel 5. Inventori emisi total

Sumber	Emisi NO ₂ (ton/thn)	%
Domestik	1.5×10^{-8}	0.01
Industri	1.2×10^{-4}	8.31
Transportasi	1.3×10^{-3}	91.68
Total	1.44×10^{-3}	

Error program

Untuk mengetahui derajat kesalahan antara pengukuran dan pemodelan dapat dilihat

dari prosentase error kesalahan (E) yang dilakukan di tiga tempat sebagai berikut :

Tabel 6. Validasi data pemodelan

Titik	Konsentrasi gas NO ₂ di Udara Ambien		E (%)
	Pengukuran Primer	Output Program	
Perum Tlogosari	27,6	1,91363	93,07
LIK Bugangan	27,0367	3,26614	87,92
KFC Pandanaran	68,3429	43,02233	37,05

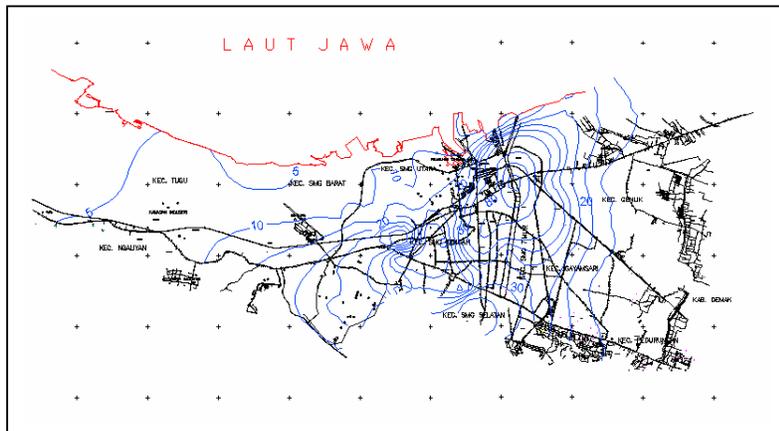
Sumber : Pengolahan Data, 2004

Nilai E yang cukup besar disebabkan oleh faktor kesalahan untuk penggunaan faktor emisi yang kurang tepat, kurang tepatnya pengambilan asumsi-asumsi dalam penghitungan data sekunder dan keterbatasan data sekunder yang diperoleh.

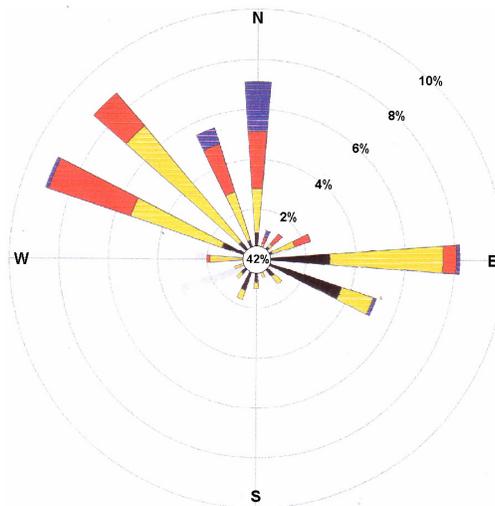
Plotting isopleth NO_x dan Arah Angin

Dari hasil plotting kontur konsentrasi NO_x di wilayah Semarang Utara dapat dilihat dalam gambar 1.

Umumnya akumulasi konsentrasi NO_x berada di kawasan Timur Laut yang merupakan sentra kawasan industri LIK dan beberapa kawasan perumahan. Sedangkan arah angin selama penelitian didapatkan angin dominan bertiup dari arah Barat Daya dan sedikit dari Timur. Implikasinya terjadi penumpukan konsentrasi NO_x di wilayah Timur Tenggara kawasan Utara Semarang.



Gambar 1. Isopleth NO_x di Semarang Utara



Gambar 2. Bunga Angin Selama penelitian

KESIMPULAN

Besarnya emisi NO_2 adalah 0,001445 ton/tahun dengan kontribusi terbanyak dihasilkan oleh sumber transportasi yaitu sekitar 91,68 %, sektor industri sebesar 8,31 %, dan sisanya adalah sektor domestik yaitu sekitar 0,01 %.

Hasil simulasi program dan hasil pengkonversian dengan konstanta 0,0881 maka konsentrasi NO_2 ambien tertinggi terdapat di daerah Tambakrejo yaitu $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nilai tersebut tidak aman untuk ditinggali karena konsentrasi diatas batas standar baku mutu yaitu sebesar $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil simulasi program ISCST3 tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi gas NO_2 ambien jauh lebih kecil bila dibandingkan pengukuran primer dengan persentase kesalahan yang bervariasi dari 37 - 93 %, ada beberapa hal yang membuat bervariasinya nilai E tersebut.

SARAN

Untuk mendapatkan hasil program yang valid maka di dalam menginventori emisi dibutuhkan data-data yang akurat.

Inventori emisi juga perlu dilakukan untuk sumber penghasil NO_2 lain misalnya saja sektor persampahan yang sedikit banyak memberikan kontribusi gas NO_2 .

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas bantuan Prathika Andini atas bantuannya memperoleh data. Terimakasih juga kepada Hiperkes atas bantuan sampling data primer, data angin dari BMG.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cooper, C David and Alley, F C. 1986. *Air Pollution Control : A Design Approach*. PWS Engineering : Boston.
2. Keputusan Gubernur Jawa Tengah No. 8 Tahun 2001 tanggal 23 April 2001 Tentang "Baku Mutu Udara Ambien di Propinsi Jawa Tengah".
3. Martiany, Mira. 2001. *Pemodelan Pola Penyebaran Zat Pencemar Udara di Daerah Cimahi, Padalarang, dan Sekitarnya Menggunakan Program ISCST3*. FTSP ITB : Bandung.
4. Pitts, Barbara J. Finlayson, Pitts, James N Jr.. 1986. *Athmospheric Chemistry, Fundamental & Experimental Techniques*. A. Willey – Interscience Publication : New York USA.
5. Soedomo M Irsyad M, Soejachman MH, Effendi Jakarta, Melianty Y. 1992. *Status Pencemaran Udara di 5 Kota Besar* . LPM ITB-Bapedal : Bandung.
6. U.S Environmental Protection Agency. 1995. *User's Guide for Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Models, Volume I User Instruction*. North Carolina.
7. U.S Environmental Protection Agency. 1995. *User's Guide for Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Models, Volume II Description of Models Algorithm*. North Carolina.

