

SIMULASI MODEL DISPERSI POLUTAN KARBON MONOKSIDA DI PINTU MASUK TOL

(Studi Kasus *Line Source* Di Ruas Tol Dupak, Surabaya)

¹Endrayana Putut L.E., ²Basuki Widodo

¹Mahasiswa Pasca Sarjana Matematika, Jurusan Matematika, Institut Teknologi Sepuluh
Nopember, Surabaya

Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya 60111 – Indonesia

²Dosen Jurusan Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya 60111 – Indonesia

Email : ¹ endrayanaputut29@gmail.com, ² b_widodo@matematika.its.ac.id

Abstrak

Polusi udara adalah masalah yang sangat penting karena berkaitan dengan emisi kendaraan bermotor, yang mengandung SO₂, CO₂, CO, NO_x, dan gas – gas lainnya. Simulasi model dispersi udara adalah salah satu cara/metode untuk mempelajari kualitas udara yang sangat dibutuhkan dalam hal ini. Hal utama yang dibahas dalam penelitian ini adalah dispersi emisi CO dari kendaraan bermotor roda empat yang memasuki pintu masuk tol Dupak, Surabaya. Di dalam penelitian ini digunakan *Gaussian model line source* untuk simulasi model dispersi polutan CO. Perhitungan konsentrasi CO menggunakan rumus :

$$C(x, z) = \frac{Q}{(2\pi)^{\frac{1}{2}} u \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{h^2}{\sigma_z^2}\right)$$

Dalam proses simulasi komputer, perlu dikembangkan program di dalam perhitungan konsentrasi CO. Hal ini penting untuk mengetahui secara singkat hasil perhitungan numerik dari model dispersi CO di tol Dupak. Karena itu diperlukan bahasa pemrograman Fortran dan software Surfer, yang mana software ini akan digunakan untuk visualisasi hasil dari perhitungan numerik menggunakan bahasa pemrograman Fortran tersebut. Hasil ini kemudian digunakan pada bagian analisis dan pembahasan.

Kata kunci: model dispersi udara, *Gaussian model line source*, tol Dupak, CO

PENDAHULUAN

Surabaya merupakan ibu kota propinsi Jawa Timur dan salah satu kota besar di Indonesia memiliki penduduk yang beragam sosial ekonominya. Surabaya memiliki lima wilayah kerja Pembantu Walikotamadya, yaitu pusat, timur, selatan, barat dan utara. Surabaya yang berpenduduk sekitar 3 juta jiwa mempunyai letak geografis 112° 36' BT sampai dengan 112° 54' BT dan 7° 9' LS sampai dengan 7° 21' LS, berada pada ketinggian 3 – 6 meter diatas permukaan laut. Luas wilayah kota Surabaya adalah 374,36 km². Surabaya memiliki suhu maksimum 35,4° C dan suhu minimum 23,4° C. Curah hujan maksimum yang pernah terjadi 355,7 mm dan curah hujan minimum adalah 299 mm.

Surabaya sebagai kota industri, dagang, maritim dan pendidikan memiliki beban yang cukup berat dalam hal volume kendaraan bermotor dan industri penghasil CO. Karbon monoksida (CO) adalah suatu gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan juga tidak berasa (Fardiaz, 1992). Gas CO sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dengan udara, berupa gas buangan yang sangat beracun (Mobbs, 1995). Kota besar yang padat lalu lintasnya akan banyak menghasilkan gas CO sehingga kadar CO dalam udara relatif tinggi dibandingkan dengan daerah pedesaan. Kendaraan bermotor merupakan sumber polutan CO yang utama yakni sekitar 59,2% . Kendaraan berbahan bakar bensin menghasilkan gas CO yang lebih banyak daripada kendaraan berbahan bakar solar (Bardeschi *dkk*,1991).Konsentrasi CO di udara pada tempat tertentu dipengaruhi oleh kecepatan emisi (pelepasan) CO di udara dan kecepatan dispersi dan pembersihan CO dari udara. Pada daerah perkotaan kecepatan pembersihan CO dari udara sangat lambat, oleh karena itu kecepatan dispersi dan pembersihan CO dari udara sangat menentukan konsentrasi CO di udara.

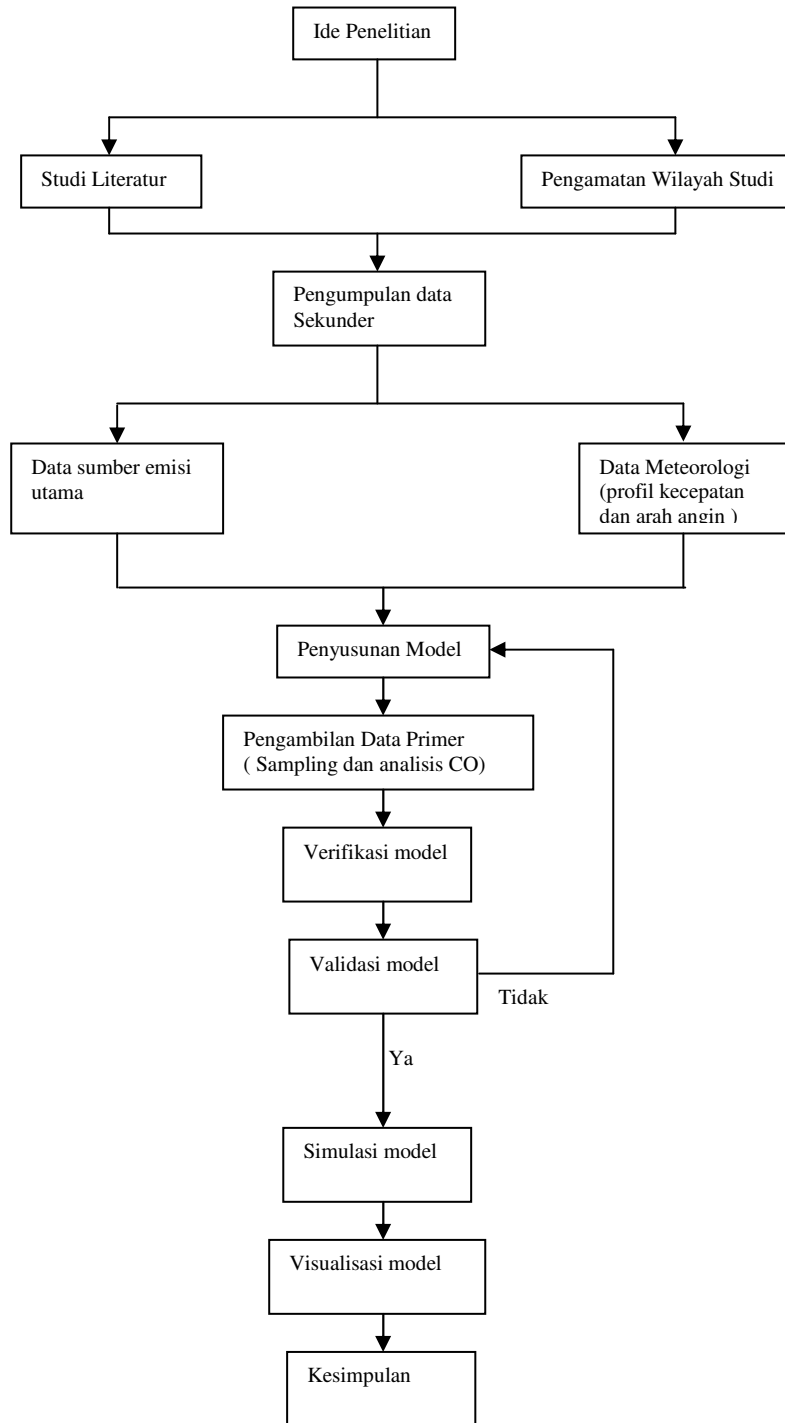
Kecepatan dispersi dipengaruhi langsung oleh faktor-faktor meteorologi seperti kecepatan dan arah angin, turbulensi udara, dan stabilitas atmosfer. Di kota-kota besar, meskipun turbulensi ditimbulkan karena adanya kendaraan yang bergerak dan aliran udara di atas dan di sekeliling bangunan, tetapi karena keterbatasan ruangan maka gerakan udara sangat terbatas sehingga konsentrasi CO di udara dapat meningkat. Senyawa CO dapat bereaksi dengan hemoglobin darah membentuk karboksi hemoglobin (Hb-CO) yang tidak bisa mengangkut oksigen dalam sirkulasi darah (Mukono, 1997). Kemampuan CO dalam mengikat Hb ternyata 210 kali lebih kuat di bandingkan oksigen, sehingga oksigen akan kalah bersaing (Atmakusumah *dkk*, 1996). Seseorang yang teracuni gas CO akan mengalami gejala sakit kepala, gangguan mental (*mental dullness*), pusing, lemah, mual, muntah, kehilangan kontrol otot, diikuti dengan penurunan denyut nadi dan frekuensi pernapasan, pingsan, dan bahkan meninggal. Kasus pingsan atau bahkan meninggal akan terjadi bila kadar Hb-CO dalam darah mencapai 60 persen dari total Hb darah atau lebih. CO dengan konsentrasi 250 ppm dapat membuat orang pingsan. Bahkan pada konsentrasi 1.000 ppm, dapat menyebabkan kematian seketika. Pemerintah Indonesia juga sangat serius terhadap hal ini dengan mengeluarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP-35/MENLH/10/1993 tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor, kandungan CO pada mobil ditentukan maksimum 4,5 persen dan 2.400 ppm untuk gas hidrokarbon (<http://www.santoslolowang.com>).

Pemerintah kota Surabaya telah melakukan usaha untuk mendukung keputusan ini di dalam mengatasi masalah pencemaran udara, terutama polutan CO, seperti pembangunan taman kota, penghijauan di kiri dan kanan jalan, namun masalah polusi udara, CO, belum dapat teratasi secara maksimal. Beberapa tempat yang memiliki konsentrasi CO yang cukup tinggi adalah perempatan jalan, jalan protokol, pintu masuk tol, kawasan industri. Di Surabaya terdapat beberapa pintu masuk tol, antara lain pintu masuk tol Waru, pintu masuk tol Dupak, pintu masuk tol Perak.

Di pintu masuk tol seringkali terdapat kemacetan kendaraan bermotor, yang tentunya menghasilkan banyak sekali gas CO. Di pintu masuk tol seringkali terdapat kemacetan kendaraan bermotor, yang tentunya menghasilkan banyak sekali gas CO. Oleh karena itu penelitian – penelitian tentang masalah polusi CO ini terus dikembangkan untuk mendukung kebijakan pemerintah kota Surabaya dalam mengatasi masalah polusi CO. Beberapa masalah yang dibahas di dalam penelitian ini antara lain, bagaimanakah *Gaussian Model Line Source* dapat dirumuskan dari modifikasi persamaan *Gaussian Plume Model* dan apakah hasil solusi *Gaussian Model Line Source* valid terhadap data primer yang diperoleh dari hasil pengamatan langsung di lapangan. Pada penelitian ini digunakan model matematika *Gaussian Model Line Source* untuk mengetahui pola dispersi dan konsentrasi CO di pintu masuk tol Dupak 3 Surabaya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada pemerintah kota Surabaya yang dapat digunakan sebagai dasar pengambil kebijakan atau peraturan daerah berkenaan dengan ambang batas emisi CO yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor minimal beroda empat dan memberikan hasil penelitian kepada pihak terkait mengenai pola dispersi polutan CO, sehingga dapat diterapkan dalam rangka penyempurnaan upaya pengelolaan kualitas udara di kota Surabaya.

Tabel 1. Komposisi gas buang kendaraan bermotor (dalam ppm)

	Polutan	Berhenti	Dipercepat	Berjalan	Diperlambat
Bahan bakar bensin	CO	69000	29000	27000	39000
	HC	5300	1600	1000	10000
	NO	30	650	650	20
	Aldehid	30	10	10	390
Bahan bakar solar	CO	-	1000	-	-
	HC	400	200	100	300
	NO	60	350	240	30
	Aldehid	10	20	10	30



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Batasan Masalah dan Asumsi

Adapun batasan masalahnya adalah sebagai berikut :

- Penerapan *Gaussian Model Line Source* hanya pada polutan CO.
- Sumber polutan adalah kendaraan bermotor roda empat berbahan bakar bensin.
- Lingkup kajian adalah pintu masuk tol Dupak 3, Surabaya.
- Atmosfer udara yang ditinjau adalah atmosfer udara ambien di atas kota Surabaya.
- Tinggi penerima (*receptor*) tertentu, yaitu z bernilai konstan.
- Data meteorologi (suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, arah angin) yang digunakan di dalam penelitian ini diperoleh dari BMKG Tanjung Perak, Surabaya.

- g. Data primer yakni data konsentrasi CO dari pengambilan sampling langsung di lapangan selama 1 (satu) minggu pada bulan Maret 2011 dengan menggunakan peralatan inpanger.
- h. Data jumlah kendaraan yang masuk di dalam pintu tol Dupak 3 diperoleh dari pengamatan langsung antara bulan Maret – April 2011 dengan menggunakan peralatan *manual counter*.

Beberapa asumsi yang digunakan di dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. *Line source* untuk sumber polutannya adalah lurus.
- b. Data meteorologi adalah valid.
- c. Tidak ada kontribusi polutan dari pabrik di sekitar pintu masuk tol Dupak 3, Surabaya.
- d. Diasumsikan bahwa arah angin di sepanjang tol Dupak yang mengarah ke pintu tol adalah *crosswind*.
- e. Elevasi muka tanah dan topografi daerah penyebaran polutan sama dengan elevasi sumber polutan.
- f. Polutan CO tidak bersifat reaktif, yaitu tidak mengalami perubahan fisis dan kimia akibat bereaksi dengan partikel lain. Laju perubahan bentuk serta penghilangannya tidak diperhitungkan.

PEMBAHASAN

Pemodelan kualitas udara adalah suatu metodologi numeris, berdasarkan pada prinsip – prinsip fisika, untuk mengestimasi konsentrasi polutan dalam ruang dan waktu sebagai fungsi dari distribusi emisi dan dipengaruhi oleh kondisi meteorologi dan geofisika (Hassan *dkk*,2000). Sehingga semua perencanaan pembangunan harus memiliki beberapa evaluasi atau prediksi untuk masa mendatang. Pemodelan kualitas udara membantu untuk memprediksi dampak dari proyek – proyek yang berdampak terhadap lingkungan udara. Apabila hal – hal yang berkenaan dengan emisi udara tersedia, maka pemodelan kualitas udara akan sangat membantu sekali, suatu model dapat menyediakan sebuah indikasi yang relevan tentang distribusi polutan secara lebih cepat dan lebih murah daripada mengamati di lapangan. Sehingga model – model kualitas udara adalah alat yang penting untuk menjaga kualitas udara lingkungan.

(i) Model *Gaussian Plume* dari Penyebaran Polutan

Formulasi persamaan *Gaussian plume* berdasar pada sistem berikut :

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \varepsilon_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \varepsilon_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (1)$$

dengan

C = konsentrasi polutan(kg/m^3)

\bar{u} = kecepatan angin rata – rata(m/s)

ε_y = konstanta difusi searah sumbu Y

ε_z = konstanta difusi searah sumbu Z

Dengan kondisi- kondisi batas :

$$(i) \quad C(0, y, z) = \frac{Q}{u} \cdot \sigma(y) \cdot \sigma(z - h) \quad (2)$$

dengan Q adalah kekuatan sumber titik polutan dalam satuan gm/s . Kondisi ini ekuivalen dengan kondisi fisis bahwa fluks per satuan waktu melintang sebuah bidang yang tegak lurus arah angin (sejajar dengan bidang YZ) adalah sama dengan laju emisi Q (sumber terletak pada $(0,0,h)$), yaitu :

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{u} C(x, y, z) dy dz = Q \quad (3)$$

h adalah tinggi dari sumber, dipilih $h = 0$ dalam solusi (5) di bawah ini dan simbol – simbol lain mempunyai arti umum.

- (ii) $C \rightarrow 0$ apabila $y \rightarrow \pm \infty$

$$(iii) \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \text{ pada saat } z = 0 \quad (4)$$

$$(iv) C \rightarrow 0 \text{ apabila } z \rightarrow \infty$$

Solusi dari (1) yang memenuhi (2),(3),(4) adalah

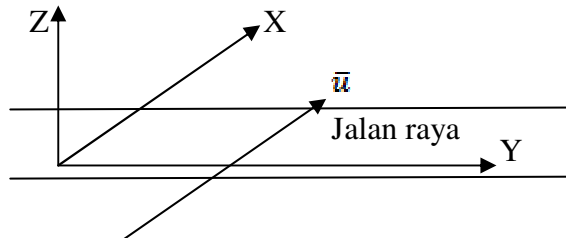
$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right) \quad (5)$$

dengan

$$\varepsilon_y = \frac{\bar{u} \sigma_y^2}{2x} \text{ dan } \varepsilon_z = \frac{\bar{u} \sigma_z^2}{2x}$$

yang menunjukkan bahwa pola konsentrasi mengikuti distribusi normal dengan σ_y dan σ_z sebagai parameter dispersi.

(ii) Model *Gaussian Line Source*



Gambar 2. Arah angin tegak lurus jalan raya

Di dalam beberapa situasi, seperti deretan pabrik – pabrik sepanjang jalan atau lalu lintas yang padat sepanjang ruas jalan atau jalan tol, masalah polusi dapat dimodelkan sebagai suatu emisi kontinu *line source* tak hingga. Beberapa penelitian telah dilakukan menggunakan model *Gaussian line source* ini. Irfan (2006) menggunakan model *Gaussian line source* untuk menggambarkan pola penyebaran pencemar PM_{10} . Dewi (2005) juga menggunakan *Gaussian line source model* untuk dalam perumusan strategi pengelolaan pencemar gas CO dari aktifitas transportasi di jalan Akhmad Yani, Surabaya. Persamaan konsentrasi yang digunakan adalah

$$C(x, z) = \frac{q}{(p+1)u_* kx} \exp\left(-\frac{z_1^{-p} u_1 z^{p+1}}{(p+1)^2 u_* kx}\right)$$

Sathinukarat dan Satayopas (2003) menggunakan *Gaussian model line source* untuk menggambarkan pola dispersi polutan CO di Chiang Mai, Thailand. Hassan, dkk.(2000) melakukan penelitian tentang pola dispersi CO di kota Bandar Seri Begawan, Brunei Darussalam menggunakan *Gaussian model line source*. Kelemahan dari beberapa penelitian di atas adalah menggunakan data kecepatan angin dari Badan Meteorologi, seharusnya kecepatan angin dihitung di lokasi pengamatan. Selain itu beberapa data meteorologi yang digunakan tidak yang terbaru, sehingga seiring dengan perkembangan cuaca saat ini seharusnya data terbaru yang digunakan.

Dalam penelitian ini, *Gaussian model line source* ini adalah perkembangan dari model *Gaussian plume* dengan mengasumsikan bahwa sebuah *line source* adalah deret *point source* yang *mutually independent*, yang masing – masing menghasilkan kepulan polutan. Sehingga konsentrasi pada suatu titik di sisi jalan dihitung sebagai jumlah konsentrasi dari deret titik – titik sumber pada jalan tersebut. Jika angin bertiup searah sumbu-X dalam hal ini tegak lurus pada jalan raya, sumbu Y adalah sepanjang jalan raya, maka konsentrasi polutan tidak bergantung pada Y, karena disini hanya memperhatikan bahwa gerakan polutan hanya oleh angin yang *crosswind* saja, sehingga variabel Y tidak diperhitungkan, artinya konsentrasi polutan pada sumbu Y diasumsikan sama. Difusi dapat diabaikan pada arah *downwind* (arah darimana angin bertiup), sehingga pada saat arah angin adalah normal terhadap garis emisi, konsentrasi level *ground downwind* diperoleh dari persamaan (5) yaitu sebagai berikut :

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{h^2}{\sigma_z^2}\right) \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) dy \tag{6}$$

dengan Q adalah kekuatan *line source* dalam gm/s.m dan h adalah ketinggian emisi. Dari persamaan (6) didapat

$$C(x, z) = \frac{Q}{(2\pi)^{\frac{1}{2}} u \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{h^2}{\sigma_z^2}\right) \tag{7}$$

Nilai Q dapat dicari dengan menghitung jumlah kendaraan dalam satu jam dikalikan dengan kecepatan rata-rata emisi gas buang kendaraan (2×10^{-2} g/s), kemudian dibagi dengan kecepatan rata-rata kendaraan dalam m/detik (Wark dan Warner, 1976), dalam penelitian ini nilai Q adalah 0,5 g/s.

(iii) Data meteorologi

Data meteorologi yang digunakan adalah kecepatan angin, arah angin, dan tutupan awan selama periode sampling. Data kecepatan angin diperoleh dari pengamatan di lapangan menggunakan *anemometer*, arah angin diperoleh dari BMKG Tanjung Perak, Surabaya.

Tabel 2. Data meteorologi sampling dan data dari BMKG

Tanggal	Waktu	arah angin	stabilitas	v rata (m/s)	v prop
19-Mar	07.00 - 08.00	Barat	B	0,1	0,0072
	16.00 -17.00	Barat	B	1,4	0,1011
20-Mar	10.00 - 11.00	Barat	B	3	0,2166
	18.00 - 19.00	Barat	B	0,1	0,0072
21-Mar	09.00 - 10.00	Barat	B	0,1	0,0072
	15.00 - 16.00	Barat	B	2,15	0,1552
22-Mar	08.00 - 09.00	Barat	B	0,1	0,0072
	17.00 - 18.00	Barat	B	0,3	0,0217
23-Mar	06.00 - 07.00	Barat	B	0,1	0,0072
	14.00 - 15.00	Barat	B	1,85	0,1336
24-Mar	12.00 -13.00	Barat	B	2,05	0,1480
25-Mar	11.00 - 12.00	Barat	B	1,55	0,1119
	19.00 - 20.00	Barat	E	0,7	0,0505
	20.00 - 21.00	Barat	E	0,35	0,0253
TOTAL				13,85	1

(iv) Hasil penelitian

Karena kekuatan sumber ditentukan dalam satuan gm/s, sedangkan konsentrasi yang diukur dari pengamatan lapangan adalah dalam ppm, maka rumus konversinya:

$$C(ppm) = \frac{(Chitung).24,5}{40.10^4} \tag{8}$$



Gambar 2.

Visualisasi distribusi CO dengan menggunakan software Surfer

Dengan menggunakan rumus (8) diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil perhitungan konsentrasi CO dari sampling

No	Tanggal	Jam	ppm (C_{O_i})	ppm hitung(C_{M_i})
1	19-Mar-11	07.00 - 08.00	0,893	1,1025
2	19-Mar-11	16.00 - 17.00	1,787	1,715
3	20-Mar-11	10.00 - 11.00	0,67	0,49
4	20-Mar-11	18.00 - 19.00	1,117	1,1025
5	21-Mar-11	09.00 - 10.00	2,233	1,715
6	21-Mar-11	15.00 - 16.00	0,893	1,1025
7	22-Mar-11	08.00 - 09.00	0,893	1,1025
8	22-Mar-11	17.00 - 18.00	1,787	1,715
9	23-Mar-11	06.00 - 07.00	0,447	0,49
10	23-Mar-11	14.00 - 15.00	2,457	1,715
11	24-Mar-11	12.00 - 13.00	2,01	1,715
12	25-Mar-11	11.00 - 12.00	2,233	1,715
13	25-Mar-11	19.00 - 20.00	1,787	1,1025
14	25-Mar-11	20.00 - 21.00	0,447	0,49

Analisis secara statistika dari nilai konsentrasi hasil perhitungan dan hasil pengamatan digunakan untuk mengevaluasi model. Dalam penelitian ini metode kesalahan akar kuadrat terkecil (*root mean square error*) digunakan untuk mengevaluasi model. *Root mean square error* (RMSE) ditentukan untuk masing – masing pasangan nilai hasil perhitungan dan nilai observasi. Keakuratan suatu model dapat diestimasi dengan membandingkan konsentrasi prediksi dan konsentrasi perhitungan dalam area studi, menggunakan formula berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_{M_i} - C_{O_i})^2} \quad (9)$$

dengan

RMSE = *Root Mean Square Error*

C_{M_i} = konsentrasi hasil perhitungan ke-i

C_{O_i} = konsentrasi dari data sekunder ke-i

n = banyak data

i = 1, 2, ... , n

Dari penelitian ini diperoleh nilai RMSE adalah 0,36067.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah model Gaussian Line Source dapat diterapkan untuk mengetahui penyebaran polutan karbon monoksida di pintu masuk tol. Konsentrasi CO tertinggi adalah di sekitar pintu masuk tol, karena kendaraan mengurangi kecepatannya dan relatif berhenti. Hal ini yang menyebabkan konsentrasi CO meningkat. Semakin jauh dari pintu masuk dan searah arah angin, konsentrasi CO makin berkurang. Dari visualisasi tampak bahwa konsentrasi maksimum adalah $28000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1,715 ppm) dan minimum adalah $8000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,49 ppm). Hal ini masih dalam tahap aman karena maksimum adalah 20 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson, R., Bremner, S., Anderson, H., Strachan, D., Bland, J.M., (1999), “Short- term Association between Emergency Hospital Admissions for Respiratory and Cardiovascular Disease and Outdoor Air Pollution in London”, *Arch Environ health* 54(6): 399-411
- Atmakusumah, Maskun, I., Djajanto, W.(1996), *Mengangkat Masalah Lingkungan Ke Media Massa*, Yayasan Obor Indonesia
- Bardeschi, A., Colluci A., Gianelle, V., Gnagnetti, M., Tamponi, M., Tebaldi, G. (1991) Analysis of the impact on air quality of motor vehicle traffic in the Milan urban area. *Atmospheric Environment*, Vol. 25B No. 3, hal. 415 – 428.
- Costabile, F., Allegrini, I. (2008) A new approach to link transport emission and air quality: An intelligent transport system based on the control of traffic air pollution. *Environmental Modelling and Software*, Vol.23, hal. 258 – 267.
- Dewi, R. (2005), *Penerapan Gaussian Line Source Model Dalam Perumusan Strategi Pengelolaan Pencemar Gas CO Dari Aktifitas Transportasi Di Sepanjang Jalan Akhmad Yani Kota Surabaya*, Tesis Magister, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.

Fardiaz, Srikandi (1992), *Polusi Air dan Udara*. Kanisius, Yogyakarta

Hassan Hasnah, Singh, M.P., Gribben, R.J., Srivastava, L.M., Radojevic, M., Latif Azahar (2000), "Application of a line source air quality model to the study of traffic carbon monoxide in Brunei Darussalam". *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, Vol. 17 No 1.

Hewitt, C.N. dan Jackson, A.V., (2003), *Handbook of atmospheric science: principles and applications*, Wiley - Blackwell, Inc., New York.

<http://www.surabaya.go.id/regulasi/index.php?catid=4> , diakses tanggal 8 Februari 2011

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP-35/MENLH/10/1993
<http://www.santoslolowang.com>, diakses tanggal 9 Februari 2011

Mobbs, Steven (1995). *MSc in Computational Fluid Dynamics Atmospheric Dispersion*. Lecture handouts, Environmental Engineering, The University of Leeds, England.

Mukono, H.J. (1997), *Pencemaran Udara dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Saluran Pernapasan*, Airlangga University Press, Surabaya.

Rao, S.T., Sistla C., Pagnotti V., Petersen W.B., Irwin J.S. and Turner D.B. (1985), "Evaluation of the performance of RAM with the regional air pollution study data base". *Atmospheric Environment*, Vol.19, hal. 29-245.

Roemer, W., Hoek, G., Brunekreef, B., (1993), "Effect of Ambient Winter Air Pollution on Respiratory Health of Children with Chronic Respiratory Symptoms", *Am Rev Respir Dis*; 147: 1187-124.

Singh, M.P.(1997). Lecture notes delivered in the Workshop on Air Pollution Modelling conducted at the University of Brunei Darussalam, Brunei Darussalam.

Soedomo, Moestikahadi, (2001), *Pencemaran Udara*. ITB, Bandung

Soenarmo, S, H., (1999), *Diktat Kuliah Meteorologi Pencemaran Udara*, Penerbit ITB, Bandung

Sutini, (2009), *Simulasi Model Matematika Dari Dispersi Pencemaran SO₂ Di Kawasan Industri PT. Semen Gresik*, Tesis, Jurusan Matematika, ITS, Surabaya.

Wark, K., Warner, C.,(1976), *Air Pollution*. Harper & Row. Publishers, New York.

