

## SIMULASI MODEL DISPERSI POLUTAN KARBON MONOKSIDA DI JALAN LAYANG ( Studi Kasus *Line Source* Di Jalan Layang Waru, Sidoarjo)

Endrayana Putut L.E.

Jurusan Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Fakultas Bahasa dan Sains, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya  
[endrayanaputut29@gmail.com](mailto:endrayanaputut29@gmail.com)

### Abstrak

Polusi udara adalah masalah yang sangat penting karena berkaitan dengan penyakit akibat emisi kendaraan bermotor, yang mengandung  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ , dan gas – gas lainnya. Simulasi model dispersi udara adalah salah satu cara/metode untuk mempelajari kualitas udara yang sangat dibutuhkan dalam hal ini. Pada penelitian ini dibahas tentang model matematika dari dispersi emisi gas  $CO$  dari kendaraan bermotor roda empat yang melewati jalan layang Waru, Sidoarjo. Persamaan Gauss untuk *line source* disusun berdasarkan mekanisme transpor polutan secara dispersi, difusi dan adveksi. Dari persamaan tersebut dapat dihitung nilai konsentrasi gas  $CO$  untuk ketinggian tertentu secara *downwind*. Validasi model dilakukan dengan membandingkan konsentrasi gas  $CO$  hasil perhitungan model dengan hasil pengukuran konsentrasi gas  $CO$  di lapangan. Dengan menggunakan uji  $R^2$  diperoleh nilai  $R^2$  yang mendekati satu. Karena itu model *Gaussian line source* digunakan sebagai model dispersi polutan  $CO$ . Model ini selanjutnya diselesaikan dan disimulasikan dengan komputer menggunakan bahasa pemrograman Fortran dan divisualisasikan menggunakan perangkat lunak Surfer.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa model *Gaussian line source* dapat digunakan untuk memodelkan pola dispersi gas  $CO$  di ketinggian tertentu secara *downwind* di jalan layang Waru, Sidoarjo. Hasil visualisasi bulan Juni menunjukkan bahwa pola dispersi gas  $CO$  dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin. Konsentrasi  $CO$  pada malam hari lebih tinggi daripada pada siang hari. Dari pola dispersi  $CO$ , diusulkan agar di sekitar jalan layang terdapat ruang udara terbuka yang cukup agar bahaya yang ditimbulkan dari polutan  $CO$  yang teremisi dari sumber emisinya dapat diminimalkan.

**Kata Kunci :** model *line source*, layang Waru,  $CO$

### Abstract

Air pollutant is the most important problem because it conducted the illness about vehicle emissions that contained  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ , and other gases. The simulation of air dispersion was one model that needed to learn about air quality. In this research, we are interested at fly over Waru, Sidoarjo. The Gaussian equation for line source model was constructed with pollutant transport mechanism by dispersion, diffusion, and advection. We can get the concentration of the  $CO$  at the specific height by downwind. The model validation by compared the result of using formula and investigation at various times. By using  $R^2$  test, we got it value was closed to one. The model are finished and simulated by using Fortran language programme and visualized bu using Surfer.

The result of model described that the Gaussian line source model can be used to modeled the dispersion of  $CO$  at the specific height by downwind at the fly over Waru, Sidoarjo. The visualization at April showed that the dispersion of  $CO$  influenced by direction and speed of the wind. The concentration of  $CO$  at night was greater than at mid-day. We suggest that there were enough space around the fly over, suppose to minimize the effect of the pollution.

**Keywords:** content, formatting, article.

## PENDAHULUAN

Kabupaten Sidoarjo sebagai salah satu penyangga Ibukota Propinsi Jawa Timur merupakan daerah yang mengalami perkembangan pesat. Keberhasilan ini dicapai karena berbagai potensi yang ada di wilayahnya seperti industri dan perdagangan,

pariwisata, serta usaha kecil dan menengah dapat dikemas dengan baik dan terarah. Dengan adanya berbagai potensi daerah serta dukungan sumber daya manusia yang memadai, maka dalam perkembangannya Kabupaten Sidoarjo mampu

menjadi salah satu daerah strategis bagi pengembangan perekonomian regional. Kabupaten Sidoarjo terletak antara 112° 5' dan 112° 9' Bujur Timur dan antara 7° 3' dan 7° 5' Lintang Selatan. Batas sebelah utara adalah Kotamadya Surabaya dan Kabupaten Gresik, sebelah selatan adalah Kabupaten Pasuruan, sebelah timur adalah Selat Madura dan sebelah barat adalah Kabupaten Mojokerto.

Sidoarjo beriklim tropis dengan dua musim, musim kemarau pada bulan Juni sampai Bulan Oktober dan musim hujan pada bulan Nopember sampai bulan Mei. Perikanan, industri dan jasa merupakan sektor perekonomian utama Sidoarjo. Sektor industri di Sidoarjo berkembang cukup pesat karena lokasi yang berdekatan dengan pusat bisnis Jawa Timur (Surabaya). Di bidang transportasi, Bandara Internasional Juanda dan Terminal Bus Purabaya yang merupakan gerbang utama Surabaya dari arah selatan dan terletak di Waru. Di sisi utara kecamatan ini terdapat Bundaran Waru, yang merupakan pintu gerbang Kota Surabaya dari arah barat daya (Mojokerto/Madiun/Kediri) dan dari arah selatan (Malang/Banyuwangi). Waru juga merupakan salah satu kawasan industri utama di selatan Surabaya. Untuk memperlancar lalu lintas yang cukup padat dari sentra industri ataupun dari luar kota Sidoarjo maupun arah sebaliknya maka dibangunlah sebuah jembatan layang yaitu fly over Waru yang banyak dilalui oleh kendaraan bermotor baik roda dua maupun roda empat, yang berbahan bakar premium atau solar. (<https://id.wikipedia.org/wiki/Waru,Sidoarjo>)

## METODE

Penelitian untuk simulasi model matematika dari dispersi polutan karbon monoksida di jembatan layang Waru dapat dilaksanakan dalam beberapa tahapan sebagai berikut :

- Pengumpulan data sumber emisi utama dengan menentukan jumlah kendaraan yang melintas di lokasi penelitian berdasarkan jenisnya pada waktu yang ditentukan dan kecepatan rata – rata kendaraan
- Pengumpulan data sekunder ( data meteorologi dari BMKG ) untuk menentukan model yang akan digunakan
- Penggunaan model matematika yang sudah ditentukan berdasarkan data – data yang sudah dikumpulkan
- Penyelesaian model matematika yang diikuti dengan penggunaan program komputer untuk penyelesaian model matematika tersebut
- Verifikasi model matematika

- Pengambilan data primer berupa konsentrasi CO di udara ambien dan data meteorologi lapangan
- Validasi model dengan data primer yang diperoleh dari lapangan
- Simulasi pola dispersi polutan CO
- Dokumentasi hasil

Ide penelitian ini adalah mengenai pembuatan pola dispersi CO dari aktifitas transportasi ( sumber bergerak ). Dari studi literatur dan beberapa penelitian sebelumnya diperoleh bahwa dispersi gas di udara dapat didekati dengan menggunakan model matematika. Model matematika yang telah dilaksanakan adalah model Gauss, karena sifatnya yang fleksibel dan mudah dimodifikasi sesuai dengan keadaan di lapangan. Penentuan daerah studi dilakukan dengan mempertimbangkan tingkat kepadatan lalu lintas dan belum pernah dilakukan penelitian sebelumnya di daerah studi tersebut. Kekhususan pemilihan daerah studi karena di daerah ini relatif tidak ada pengaruh dari industri di sekitar lokasi sehingga tidak ada pengaruh dari sumber polutan lain, maka model Gauss dapat diterapkan untuk penelitian ini.

Data – data yang diperlukan di dalam penelitian ini meliputi data – data mengenai :

- Jumlah kendaraan yang melintas berdasarkan jenisnya di jalan layang Waru yang diambil antara pukul 06.00 – 21.00 pada waktu sampling lalu diambil rataannya. Jenis kendaraan berbahan bakar bensin dikategorikan menjadi tiga, yaitu MPV, minibus dan sedan. Ini diperlukan untuk menentukan ketinggian sumber emisi ( knalpot ). Masing – masing adalah 0,5m ; 0,4 m; dan 0,3 m.
- Kecepatan rata – rata kendaraan dilakukan dengan metode dua orang pengamat, yaitu menempatkan dua orang pada titik di ruas jalan berjarak 20 m. Pada saat sebuah kendaraan melintas, pengamat pertama memberi “tanda” dan pengamat kedua memulai menekan *stopwatch*. Pengamat kedua menghentikan *stopwatch* begitu kendaraan melewatinya dan mencatat waktunya. Pencatatan ini dilakukan pada saat sampling.
- Data – data meteorologi dari BMKG Tanjung Perak Surabaya yang meliputi :
  - Data kecepatan dan arah angin bulan April 2017
  - Data temperatur dan kelembaban udara bulan April 2017
  - Data kembang angin (*wind rose* ) bulanan, bulan April 2017

Selain itu juga diperlukan data mengenai lokasi dan jarak antara sumber dan lokasi pengambilan sampel.

Model matematika yang digunakan untuk menentukan pola dispersi polutan CO di pintu masuk tol adalah model *Gaussian Line Source*. Model ini disusun dengan memodifikasi model *Gaussian plume*. Model disusun untuk data masukan berupa data kondisi meteorologis rata – rata dalam suatu periode waktu. Penyelesaian model ini dilakukan dengan menggunakan bahasa program Fortran. Asumsi – asumsi yang digunakan dalam penyusunan model ini adalah sebagai berikut :

- Arah dan kecepatan angin antara daerah sumber dan penerima tidak bervariasi, arah angin *crosswind*.
- Line sourcena* adalah lurus.
- Tidak ada polutan yang hilang dari kepulan, perubahan karena reaksi kimia diabaikan, jika kepulan menyentuh tanah maka dianggap dipantulkan kembali.
- Sifat kimia senyawa yang dikeluarkan stabil dan tidak berubah di udara.
- Pada sistem terjadi *plume rise* dengan laju yang konstan dan kontinu.
- Tidak ada pengaruh senyawa kimia lain, dalam hal ini di sekitar lokasi studi tidak ada sumber polutan lain yang berpengaruh terhadap konsentrasi polutan CO di daerah studi.

Data primer yang diambil digunakan untuk melakukan validasi terhadap model matematika. Alat yang digunakan untuk mengukur kadar CO di udara ambien dalam penelitian ini adalah *inpanger*. Sampel udara dihisap oleh *inpanger* melalui selang penghisap selama 30 menit. Sampel udara ini masuk ke dalam *inpanger* lalu CO akan diserap oleh *absorbant* larutan KI 2%. Setelah itu larutan KI akan disimpan dan dianalisis di laboratorium. Data primer yang utama adalah konsentrasi CO di udara ambien pada daerah penerima. Selain itu, diperlukan data meteorologi di lapangan, meliputi :

- Arah dan kecepatan angin di lokasi pada saat pengambilan sampel
- Temperatur dan kelembaban udara di lokasi sampling
- Cuaca pada saat pengambilan sampel untuk memperkirakan tutupan awan.

Pengambilan sampel dilakukan di lokasi daerah studi dengan mempertimbangkan lokasi dari sumber emisi utama. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan

April 2017. Lokasi sampling ditetapkan di sekitar jembatan layang Waru, di daerah *downwind* dari sumber emisi berdasarkan perkiraan arah angin dominan di daerah studi selama sampling dilakukan, yaitu arah angin dari barat ke timur. Selain itu, untuk mendapatkan lokasi pengambilan sampel yang representatif, lokasi pengambilan sampel berada pada udara terbuka, berjarak lebih dari 10 m dari bangunan dan pepohonan, untuk menghindari pengurangan kadar pencemar oleh pepohonan dan bangunan tinggi (Baumbach,1995). Terdapat beberapa posisi untuk meletakkan *inpanger* dilakukan secara acak di posisi tersebut. Pengambilan sampel dilakukan di antara rentang waktu 06.00 – 21.00 WIB. Penentuan waktu pengambilan sampel dilakukan secara acak. Untuk masing – masing waktu dilakukan sampling sebanyak satu kali selama 30 menit. Sampel ini kemudian dianalisis di laboratorium. Larutan KI 2% yang menyerap CO akan diurai dengan larutan I<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2,5%, sehingga akan didapatkan nilai konsentrasi CO. Analisa data dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut : tahapan pengujian model matematika untuk mengetahui apakah terdapat keterkaitan yang erat antara hasil perhitungan dari model *Gaussian line source* dengan hasil sampling di lapangan. Kedua nilai diatas selanjutnya dibandingkan dengan menggunakan uji R<sup>2</sup> , diperoleh nilai R<sup>2</sup> semakin mendekati satu, maka model *Gaussian line source* tersebut valid.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Modifikasi persamaan Gauss diperoleh,

$$C(0, \bar{u}) = \frac{2q}{(2\pi)^{\frac{1}{2}} \bar{u} \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{h^2}{\sigma_z^2}\right), \text{ dengan}$$

- $C(0, \bar{u})$  = konsentrasi polutan (  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  )
- $q$  = kekuatan sumber polutan ( g/s )
- $\bar{u}$  = kecepatan angin rata - rata pada arah X(m/s )
- $h$  = ketinggian sumber emisi ( m )
- $\sigma_z$  = koefisien dispersi arah z

**Tabel 1.** Data Input Hasil Sampling

| Tg l   | Waktu         | Arah Angin Dari | ST A | v rata (m/s) | v prop |
|--------|---------------|-----------------|------|--------------|--------|
| 22     | 07.00 - 08.00 | B               | B    | 0,1          | 0,0072 |
|        | 16.00 -17.00  | B               | B    | 1,4          | 0,1011 |
| 23     | 10.00 - 11.00 | B               | B    | 3            | 0,2166 |
|        | 18.00 - 19.00 | B               | B    | 0,1          | 0,0072 |
| 24     | 09.00 - 10.00 | B               | B    | 0,1          | 0,0072 |
|        | 15.00 - 16.00 | B               | B    | 2,15         | 0,1552 |
| 25     | 08.00 - 09.00 | B               | B    | 0,1          | 0,0072 |
|        | 17.00 - 18.00 | B               | B    | 0,3          | 0,0217 |
| 26     | 06.00 - 07.00 | B               | B    | 0,1          | 0,0072 |
|        | 14.00 - 15.00 | B               | B    | 1,85         | 0,1336 |
| 27     | 12.00 -13.00  | B               | B    | 2,05         | 0,1480 |
| 28     | 11.00 - 12.00 | B               | B    | 1,55         | 0,1119 |
|        | 19.00 - 20.00 | B               | E    | 0,7          | 0,0505 |
|        | 20.00 - 21.00 | B               | E    | 0,35         | 0,0253 |
| Jumlah |               |                 |      | 13,8         | 1      |

Setelah semua data dimasukkan, maka data hasil perhitungan kemudian digrid dan diplotting. Karena hasil perhitungan konsentrasi dalam satuan  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sedangkan konsentrasi yang diukur dari pengamatan lapangan untuk tiap posisi reseptor adalah dalam ppm, maka hasil perhitungan dikonversi ke dalam satuan ppm.

**Tabel 2.** Hasil Penghitungan Konsentrasi CO

| TGL | $C_{\text{observer}}$ (ppm) | $C_{\text{hitung}}$ (ppm) | $C_{\text{O}^2}$ | $C_{\text{M}^2}$ |
|-----|-----------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| 22  | 0,893                       | 0,708                     | 0,7974           | 0,5013           |
| 22  | 1,787                       | 1,015                     | 3,1934           | 1,0302           |
| 23  | 0,67                        | 0,606                     | 0,4489           | 0,3672           |
| 23  | 1,117                       | 1,015                     | 1,2477           | 1,0302           |
| 24  | 2,233                       | 2,389                     | 4,9863           | 5,7073           |
| 24  | 0,893                       | 0,772                     | 0,7974           | 0,5960           |
| 25  | 0,893                       | 0,772                     | 0,7974           | 0,5960           |
| 25  | 1,787                       | 1,015                     | 3,1934           | 1,0302           |

|    |       |       |         |         |
|----|-------|-------|---------|---------|
| 26 | 0,447 | 0,435 | 0,1998  | 0,1892  |
| 26 | 2,457 | 2,389 | 6,0368  | 5,7073  |
| 27 | 2,01  | 2,389 | 4,0401  | 5,7073  |
| 28 | 2,233 | 2,927 | 4,9863  | 8,5673  |
| 28 | 1,787 | 1,015 | 3,1934  | 1,0302  |
| 28 | 0,447 | 0,435 | 0,1998  | 0,1892  |
|    |       |       | 34,1182 | 32,2491 |

Plotting simulasi dispersi CO untuk adalah sebagai berikut:



**Gambar 1.** Dispersi CO bulan April 2017

Dari Tabel 2 di atas, dilakukan uji  $R^2$ , yakni sebagai berikut :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n C_{M_i}^2}{\sum_{i=1}^n C_{O_i}^2} = \frac{32,249}{34,12} = 0,946$$

Dari hasil perhitungan  $R^2$  diatas, yaitu 0,946 dapat dikatakan bahwa model Gauss *line source* yang digunakan untuk menghitung konsentrasi CO pada *level ground downwind* adalah valid.

## PENUTUP

### Simpulan

Dari penelitian ini terdapat beberapa kesimpulan yaitu model *Gaussian line source* ini dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi polutan CO di jembatan layang Waru, Sidoarjo dan dari hasil visualisasi, didapat bahwa konsentrasi CO pada siang hari lebih besar dari pada malam hari.

### Saran

Penelitian tentang dispersi polutan dalam penelitian ini hendaknya dapat menginspirasi peneliti lain untuk mengadakan penelitian lebih lanjut juga tidak hanya untuk dispersi polutan CO pada level *ground downwind*. Selain itu, member masukan kepada pemerintah Kabupaten Sidoarjo untuk memberikan solusi tentang pertumbuhan kendaraan bermotor yang sangat pesat, sehingga bahaya yang ditimbulkan dari polutan CO yang teremisi dari sumber emisinya dapat diminimalkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alina (2010), *Statistical Models for Test Equating, Scaling and Linking*, Springer
- 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.
- Chamida. (2004), *Strategi Pengendalian Pencemaran Udara Berupa Kebijakan Berdasarkan Pemanfaatan Model Matematika Dispersi Pencemar Udara (PM<sub>10</sub>) di Kota Surabaya*, Tesis Magister, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.
- 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.
- Draper, N., Smith, H.(1992),” *Applied Regression Analysis (Second Edition)* “, John Wiley & Sons, Inc.
- 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.
- <https://id.wikipedia.org/wiki/Waru,Sidoarjo> , diakses tanggal 29 Maret 2017
- Irfan, M. (2006), *Penerapan Gaussian Line Source Model Pada Aktifitas Transportasi di Jalan Akhmad Yani Surabaya Untuk Perumusan Strategi Pengelolaan Pencemar Partikel (PM<sub>10</sub>)*, Tesis Magister, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.
- 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.
- Noeniek, S. (1987), *Kalkulus Lanjutan*. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta
- Nevers, Noel. (2000), *Air Pollution Control Engineering*. Mc Graw Hill, Boston
- Peavy, H.S et all. (1985), *Environmental Engineering*. Mc Graw Hill Inc., New York
- Peraturan Pemerintah RI Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Penerbit Citra Umbara, Bandung 2009
- Putut, Endrayana. (2011),”Simulasi Model Dispersi Polutan Karbon Monoksida Di Pintu Masuk Tol ( Studi Kasus *Line Source* Di Ruas Tol Dupak, Surabaya), Tesis Magister, Jurusan Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.
- 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.
- Retnowati, P., (1999), *Seribu Pena Kimia SMU Jilid I*. Penerbit Erlangga, Jakarta
- Sathitkunarath, S., Satayopas, B. (2003). “Effect of Traffic on Carbon Monoxide Concentration in Chiang Mai Urban Area”. *Proceedings of the*

*2nd Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment*, Phuket, Thailand

- Setyorini, Titin (2003), *Faktor Penentu Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Area Transportasi Dengan Indikator CO*, Tesis, Jurusan Teknik Lingkungan, ITS, Surabaya.
- 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 SO<sub>2</sub> Di Kawasan Industri PT. Semen Gresik*, Tesis, Jurusan Matematika, ITS, Surabaya.
- Wark, K., Warner, C.,(1976), *Air Pollution*. Harper & Row. Publishers, New York.