

## PENGUNAAN AERMOD UNTUK KAJIAN SIMULASI DAMPAK PENCEMARAN KARBON MONOKSIDA DI KOTA YOGYAKARTA AKIBAT EMISI KENDARAAN BERMOTOR

*(Using Aermod to Simulation Study of Carbon Monoxide Pollution Effect in Yogyakarta City Caused by The Emission of Motor Vehicles)*

Taufik Abdillah Natsir<sup>1\*</sup>, Yudith Windrianto Pambarep<sup>2</sup>, Retno Susetyaningsih<sup>2</sup>, Kris Setyanto<sup>2</sup>, dan Rita Dewi Triastianti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Sekip utara Bulaksumur, Yogyakarta, 55281

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Yogyakarta, Jl. Janti Km 4 Gedongkuning, Yogyakarta.

\*Penulis korespondensi. Tel: +6281329079961. Email: tanatsir@gmail.com.

Diterima: 31 Oktober 2016

Disetujui: 11 Januari 2017

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian terkait simulasi dampak pencemaran udara di Kota Yogyakarta akibat dari emisi kendaraan bermotor dengan menggunakan perangkat lunak AERMOD dan visualisasi hasil dengan menggunakan perangkat lunak SURFER 9. AERMOD merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh US-EPA dan merupakan perangkat lunak yang direkomendasikan oleh US-EPA untuk memprakirakan dampak polutan udara. Penelitian dilakukan di 4 ruas jalan kota Yogyakarta, yaitu jalan Cik Di Tiro, jalan Prof. Herman Yohanes, jalan Colombo, dan jalan Jendral Sudirman dan dilaksanakan pada bulan Januari 2015. Data iklim diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Parameter yang diukur adalah karbon monoksida (CO) dan jumlah kendaraan yang lewat di lokasi penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi tertinggi CO pada bulan Januari 2015 berada pada rentang antara 5.500 – 8.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (4,46–6,49 ppm) berada di jalan Cik Di Tiro. Hasil simulasi selama 10 tahun menunjukkan bahwa pada tahun 2025, konsentrasi CO tertinggi hingga mencapai  $\pm 16.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (16 ppm) dan berada di jalan Cik Di Tiro.

**Kata kunci:** simulasi, karbonmonoksida, kualitas udara, polusi, emisi.

### Abstract

*A research of the simulation of air pollution effect in Yogyakarta city caused by the emission of motor vehicles had been conducted by using the AERMOD software, and the result was visualized by using SURFER 9. AERMOD was a software which was developed and is recommended by US-EPA to predict air pollution. The research was conducted on January 2015 in 4 locations in Yogyakarta city, which were Cik Di Tiro Road, Prof. Herman Yohanes Road, Colomobo Road, and Sudirman Road. Climatology data was obtained from the Meteorology, Climatology and Geophysics Agency (BMKG) of the Special Province of Yogyakarta. Parameters which were measured in this research were carbon monoxide (CO) and traffic counting. The result showed that the highest concentration of CO on January 2015 was 5,500–8,000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (4.46–6.49 ppm) located in Cik Di Tiro Road. The result of air pollution simulation for ten years showed that in 2025, the highest concentration of CO would be approximately  $\pm 16,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (16 ppm), located in Cik Di Tiro Road.*

**Keywords:** simulation, carbon monoxide, air quality, pollution, emission.

### PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan yang pesat di kota Yogyakarta selain meningkatkan perekonomian masyarakat juga menimbulkan permasalahan lingkungan yang mengakibatkan menurunnya kualitas lingkungan. Salah satu permasalahan lingkungan yang cukup penting sebagai dampak perkembangan pembangunan di kota Yogyakarta adalah pencemaran udara akibat meningkatnya jumlah kendaraan bermotor. Sektor transportasi merupakan sumber utama emisi gas

karbon monoksida (CO) dari sumber antropogenik di negara-negara berkembang (Flachbart, 1999; Afsaly dkk, 2017).

Berdasarkan data dari Korps Lalu Lintas Kepolisian Republik Indonesia (Korlantas Polri), jumlah kendaraan yang beroperasi di seluruh Indonesia dari tahun 2012-2014 mengalami kenaikan 12% menjadi 104.211 juta unit, dan populasi terbanyak disumbang oleh sepeda motor yaitu 73% (Ismiyati dkk., 2014). Berdasarkan data Dinas Perhubungan DIY tahun 2004 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan jumlah kendaraan bermotor

sebesar 11,19% atau 976.137 unit dengan rincian 8,47% mobil penumpang, 3,65% mobil beban, 1,50% bis, dan 86,37% sepeda motor (Evianie, 2008). Semakin meningkatnya jumlah kendaraan bermotor mengakibatkan tingkat konsumsi bahan bakar minyak semakin tahun meningkat, sehingga jumlah polutan CO juga semakin meningkat. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode untuk memprakirakan sebaran dampak polutan CO sebagai bagian dari mitigasi risiko.

Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui sebaran polutan gas di atmosfer dari sumber transportasi adalah dengan menggunakan perangkat lunak CALINE 4 yang dikembangkan oleh California Department of Transportasi (Caltrans) (Garza dkk., 1997). Beberapa peneliti telah menggunakan CALINE 4 untuk memprediksi konsentrasi CO di daerah perkotaan akibat emisi transportasi (Majumdar dkk., 2010; Gupta dkk., 2011; Sharma dkk., 2013). Namun demikian, CALINE 4 tidak memperhatikan stabilitas atmosfer dalam menghitung penyebaran polutan di lingkungan, hanya parameter atmosfer tertentu saja seperti temperatur, arah dan kecepatan angin yang diperhitungkan, sehingga hasilnya kurang akurat.

*The American Meteorology Society-Environmental Protection Agency Regulatory Model* (AERMOD) merupakan perangkat lunak berbasis model Gaussian plume yang direkomendasikan oleh US EPA untuk simulasi kualitas udara (EPA, 2005; Rood, 2014). Perbedaan AERMOD dengan CALINE 4 terletak pada masukkan data iklim yang lebih lengkap, seperti data *planetary boundary layer* (PBL), yang merupakan bagian data meteorologi untuk AERMOD. Selain itu, AERMOD juga memasukkan kontur lokasi penelitian sebagai bagian dari topografi (Steven dkk., 2004). AERMOD merupakan model dispersi spasial kualitas udara yang ditujukan untuk pemenuhan terhadap peraturan, dan mampu memprediksi penyebaran kualitas udara hingga 50 sumber yang berbeda-beda (sumber titik, luas, atau volume), selain itu penyebaran kualitas udara dari sumber sumber bergerak juga dapat diprediksi oleh perangkat lunak ini (Zou dkk., 2010). Kelebihan AERMOD dibandingkan dengan perangkat lunak lainnya adalah kemampuannya dalam memprediksi ground level concentration (GLC) akibat dari pengaruh PBL (Yang dkk., 2007). Beberapa peneliti telah menggunakan AERMOD sebagai bagian dari pencegahan pencemaran udara, seperti Oscar dan Andrea (2018) menggunakan AERMOD untuk memprakirakan dampak penurunan kualitas udara dari kegiatan pabrik kertas, dan Patrick *et.al.* (2017) memprakirakan dampak penurunan kualitas udara dari kegiatan penyulingan minyak (*oil*

*refinery*) terhadap kesehatan dengan menggunakan AERMOD.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memprediksi kualitas udara dari polutan karbon monoksida akibat transportasi di Kota Yogyakarta dengan menggunakan perangkat lunak AERMOD di mana penelitian simulasi kualitas udara di Kota Yogyakarta dengan menggunakan AERMOD belum pernah dilakukan sebelumnya. Penentuan lokasi penelitian didasarkan pada keberadaan Kelurahan Terban yang terletak di daerah perdagangan, perkantoran, serta pemukiman

## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Lokasi

Pengambilan data lapangan yang meliputi CO (karbon monoksida), temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan dan arah angin sesaat, serta jumlah dan jenis kendaraan dilakukan pada tanggal 8 Januari 2015 dengan lokasi di 8 titik seperti yang disajikan dalam Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel berada di 4 jalan utama, yaitu jalan Prof. Herman Yohanes, jalan Colombo, jalan Cik Di Tiro, dan jalan Jendral Sudirman.

### Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah CO meter, anemometer, perangkat lunak AERMOD yang dikeluarkan oleh EPA, dan SURFER 9 untuk memvisualisasi hasil dari AERMOD, dan WRPLOT View, untuk membuat mawar angin, dibuat oleh Lakes Environmental.

### Prosedur

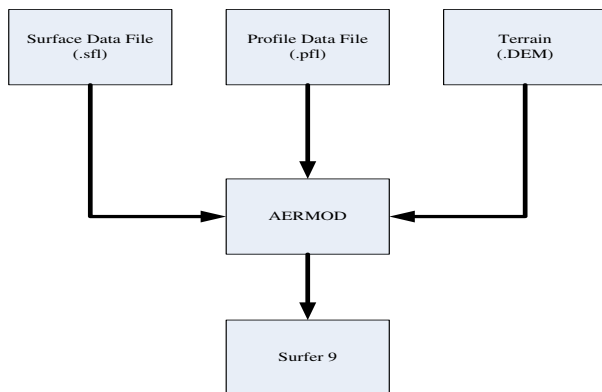
Pengukuran kondisi meteorologi sesaat yang meliputi temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan dan arah angin sesaat dilakukan dengan menggunakan alat anemometer, sedangkan data sekunder meteorologi yaitu temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan dan arah angin, curah hujan dalam serangkaian waktu 1999-2009 diperoleh dari BMKG Lanud Adisucipto Yogyakarta. Pengukuran kadar CO, jumlah dan jenis kendaraan dilakukan pada pagi (pukul 06.00 – 08.00 WIB), siang (pukul 12.00 – 14.00 WIB), dan sore (pukul 16.00 – 18.00 WIB).

Simulasi penyebaran CO akibat transportasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak AERMOD yang dikeluarkan oleh EPA. Alur pekerjaan AERMOD disajikan pada Gambar 2.

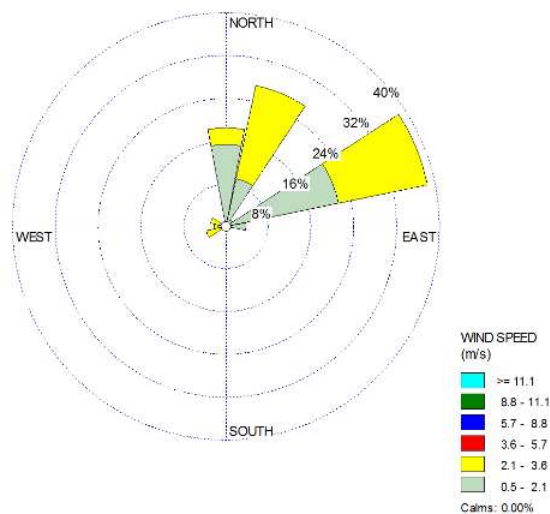
*Surface data file* (.sfc) merupakan sekumpulan data yang terdiri dari *Sensible heat flux*, *Surface friction velocity*, *Convective velocity scale*, *Vertical potential temperature gradient above PBL*, *Convective mixing height*, *Mechanical mixing height*, *Monin-Obukhov length*, *Surface roughness*,



**Gambar 1.** Lokasi penelitian.



**Gambar 2.** Alur kerja perangkat lunak AERMOD.



**Gambar 3.** Mawar angin di Kota Yogyakarta.

rasio Bowen, Albedo, kecepatan angin, arah angin, ketinggian angin referensi ( $W_{Ref}=10m$ ), temperatur, ketinggian temperatur referensi ( $T_{Ref}=2m$ ), kode curah hujan, curah hujan, dan kelembaban udara. Sedangkan *Profile data file* (.pfi) terdiri dari kecepatan angin, arah angin, temperatur, standar deviasi kecepatan angin, dan standar deviasi arah angin. Tidak semua data untuk *surface data file* (.sfc) dan *profile data file* (.pfi) tersedia di BMKG Lanud Adisucipto Yogyakarta, sehingga data yang tidak tersedia dapat diisi sesuai *default*.

Data *terrain* diperoleh dari GTOPO30 yang tersedia online di <http://www.src.com> yang kemudian diolah dengan menggunakan AERMAP yang sudah tersedia di dalam AERMOD. Pembuatan mawar angin (*wind rose*) dilakukan dengan menggunakan data *profile data file* (.sfc) yang diolah dengan menggunakan perangkat lunak WRPLOT View yang tersedia gratis di <http://www.weblakes.com>. Faktor emisi gas buang kendaraan mengacu pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah (Anonim, 2010) seperti disajikan pada Tabel 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pencemaran karbon monoksida (CO) di kota Yogyakarta dilaksanakan di Kelurahan Terban dan dilaksanakan di 4 jalan utama, yaitu jalan Prof. Herman Yohanes, jalan Colombo, jalan Cik Di Tiro, dan jalan Jendral Sudirman (Gambar 1) dimana semua lokasi penelitian termasuk jalan Kabupaten dengan karakteristik jalan disajikan pada Tabel 2.

Kecepatan dan arah angin merupakan unsur iklim yang berperan terhadap penyebaran polutan di udara. Mawar angin dari Stasiun Adisutjipto, Yogyakarta selama periode tahun 1999–2009 disajikan pada Gambar 3 yang menunjukkan bahwa arah angin dominan ke arah utara dan timur laut dengan kecepatan rata-rata 0,5–2,1 m/s. Hal ini dikarenakan karena lokasi kota Yogyakarta

**Tabel 1.** Faktor emisi gas buang kendaraan untuk kota metropolitan dan kota besar di Indonesia.

Jenis Kendaraan	CO (g/km)	Hidrokarbon (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	PM <sub>10</sub> (g/km)	SO <sub>2</sub> (g/km)
Sepeda motor	14,0	5,9	0,29	0,24	0,008
Mobil (bensin)	40,0	4,0	2,00	0,01	0,026
Mobil (solar)	2,8	0,2	3,50	0,53	0,440
Mobil	32,4	3,2	2,30	0,12	0,110
Bis	11,0	1,3	11,90	1,40	0,930
Truk	8,4	1,8	17,70	1,40	0,820

Sumber : PermenLH no 12 tahun 2010 (Anonim, 2010).

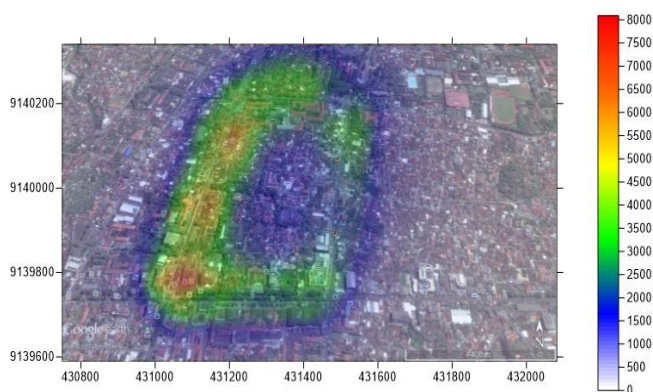
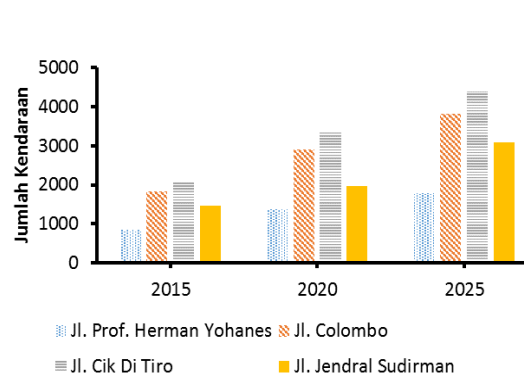
**Tabel 2.** Karakteristik jalan di lokasi penelitian.

Titik	Nama Jalan	Lebar (m)	Tipe Jalan	Tipe Perkerasan	Status Jalan
4,6.	Jl. Prof. Herman Yohanes	8,8	2/1 UD	Aspal	Jalan Kabupaten
7,8	Jl. Colombo	10,8	2/2 UD	Aspal	Jalan Kabupaten
3,5	Jl. Cik Di Tiro	13,0	2/2 D	Aspal	Jalan Kabupaten
1,2	Jl. Jendral Sudirman	13,0	2/1 UD	Aspal	Jalan Kabupaten

Keterangan : UD: *undivided*, D: *divided*. Sumber : Hasil analisis.

**Tabel 3.** Hasil pengambilan sampel di lokasi penelitian.

Lokasi	CO (ppm)	Jumlah dan Jenis Kendaraan (Unit)				
		Sepeda Motor	Mobil	Bus	Truk	Jumlah
Titik 1	2,67	632	117	6	1	756
Titik 2	4,00	537	172	3	2	714
Titik 3	12,00	839	317	15	4	1,175
Titik 4	3,00	343	66	0	1	410
Titik 5	5,33	698	213	5	2	918
Titik 6	3,33	355	89	0	1	445
Titik 7	13,33	689	165	7	0	861
Titik 8	6,67	699	244	11	8	962

**Gambar 4.** Simulasi penyebaran CO pada tahun 2015.**Gambar 5.** Simulasi peningkatan jumlah kendaraan bermotor di lokasi penelitian (2014-2025).**Tabel 4.** Perbedaan kadar CO hasil pengukuran dengan hasil simulasi.

Lokasi	CO pengukuran (ppm)	CO simulasi (ppm)
Titik 1	2,67	2,57
Titik 2	4,00	2,69
Titik 3	12,00	4,05
Titik 4	3,00	2,08
Titik 5	5,33	5,22
Titik 6	3,33	1,96
Titik 7	13,33	2,63
Titik 8	6,67	3,20

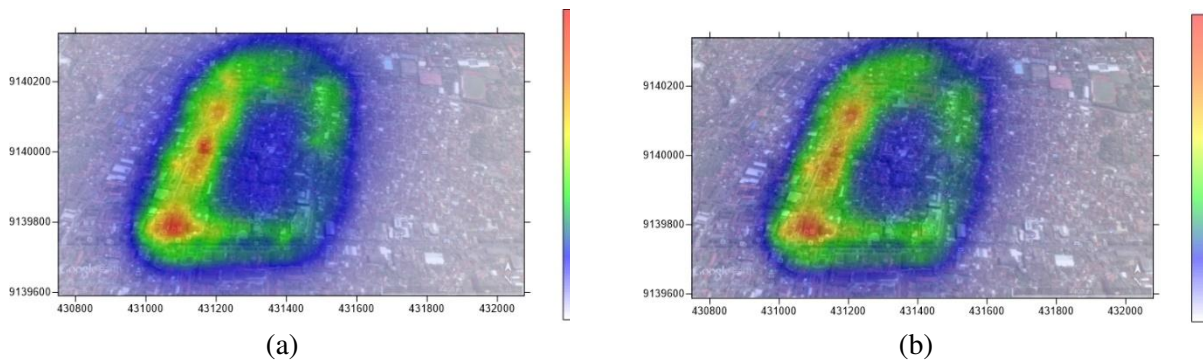
merupakan daerah dataran rendah di antara Samudra Indonesia di sebelah selatan dan gunung Merapi di sebelah utara, sehingga arah angin dominan berasal dari selatan dan barat daya.

Konsentrasi CO di semua titik pengambilan sampel (Tabel 3) masih di bawah Baku Mutu Udara Ambien sesuai Keputusan Gubernur Daerah

Istimewa Yogyakarta No. 153 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Udara Ambien Daerah di Propinsi DIY (konsentrasi maksimum CO adalah 24,3 ppm ( $30.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) untuk pengukuran selama satu jam). Adanya korelasi antara jumlah kendaraan dengan konsentrasi CO ( $R = 0,701$ ) menunjukkan adanya hubungan linier antara peningkatan jumlah kendaraan dengan peningkatan konsentrasi CO di lokasi studi (Taylor, 1990). Selain jumlah kendaraan, jenis kendaraan juga mempengaruhi konsentrasi CO (Dirks dkk., 2012, dan Chandra dkk., 2016).

Hasil simulasi penyebaran gas CO dengan menggunakan AERMOD (Tabel 4 dan Gambar 4) menunjukkan konsentrasi CO tertinggi di sepanjang jalan Cik Di Tiro dengan konsentrasi berkisar  $5.500 - 8.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (4,46 – 6,49 ppm). Nilai konsentrasi CO masih di bawah baku mutu udara ambien berdasarkan Keputusan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 153 Tahun 2002. Jalan Cik Di Tiro merupakan jalan yang paling besar terkena





**Gambar 6.** Simulasi penyebaran CO tahun (a) 2020 dan (b) 2025.

dampak peningkatan konsentrasi CO. Hal ini disebabkan karena jalan Cik Di Tiro merupakan jalan dengan 2 arah (2/2 D) dengan lebar jalan 13 m dan merupakan salah satu jalan yang padat menuju kampus UGM. Perbedaan konsentrasi hasil simulasi dengan hasil pengukuran (Tabel 4) disebabkan karena konsentrasi hasil pengukuran dipengaruhi oleh sumber CO dari lokasi lain seperti jalan Sudirman di sisi sebelah barat Toko Gramedia, jalan Terban, jalan Urip Sumiharjo, jalan Wahidin Sudiro Husodo, jalan Colombo (sisi timur), dan jalan Prof. Dr. Drs. Notonegoro yang tidak dimasukkan ke dalam AERMOD.

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2014, kenaikan rata-rata tiap tahun jumlah kendaraan bermotor di kota Yogyakarta tahun 2005-2013 adalah sebesar 10% (Anonim, 2014). Berdasarkan asumsi tersebut, jumlah kendaraan di lokasi kegiatan diperkirakan akan mencapai 9.608 kendaraan pada tahun 2020 dan 13.106 kendaraan pada tahun 2025 seperti terlihat pada Gambar 5. Dengan mengacu pada kenaikan jumlah kendaraan pada tahun 2020 dan 2025, konsentrasi CO tertinggi diperkirakan akan meningkat hingga  $\pm 16.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (16 ppm) pada tahun 2025 di jln. Cik Di Tiro (Gambar 6). Kenaikan jumlah CO melebihi 10 ppm dapat mengakibatkan konsentrasi carboxyhemoglobin (COHb) di dalam darah mencapai 2% yang akan menyebabkan asymptomatic, yaitu suatu penyakit dimana pasien tidak menyadari gejala apapun (Raub dkk., 2000). Kenaikan jumlah CO di udara ambien ini diharapkan menjadi perhatian instansi terkait untuk membuat regulasi terkait jumlah kendaraan di lokasi penelitian sehingga konsentrasi CO di udara ambien akan tetap aman terhadap manusia dan lingkungan.

## KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa AERMOD dapat digunakan untuk memprediksi

polutan udara dari aktivitas transportasi. Konsentrasi CO di lokasi penelitian pada tahun 2014 masih di bawah baku mutu menurut Keputusan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 153 Tahun 2002. Semakin meningkat jumlah kendaraan bermotor, semakin meningkat pula konsentrasi CO di udara ambien. Berdasarkan simulasi pada tahun 2025, konsentrasi tertinggi CO akibat aktivitas transportasi di lokasi penelitian berada di jalan Cik di Tiro dengan konsentrasi CO mencapai  $\pm 16.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (16 ppm).

## DAFTAR PUSTAKA

- Afsali, A., Rashid, M., Afzali, M., dan Younesi, V., 2017. Prediction of Air Pollutants Concentrations from Multiple Sources Using AERMOD Coupled with WRF Prognostic Model. *J. Clean. Prod.*, 166:1216-1225.
- Anonim, 2002. Keputusan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 153 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Udara Ambien Daerah di Propinsi DIY. Yogyakarta.
- Anonim, 2010. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaraan Udara di Daerah. Jakarta.
- Anonim, 2014. Data Biro Pusat Statistik Provinsi DIY tahun 2014. Yogyakarta.
- Dirks, K., Sharma, P., Salmond, J., dan Costello, S., 2012. Personal Exposure to Air Pollution for Various Modes of Transport in Auckland, New Zealand. *The Open Atmospheric Science Journal*, 6: 89-92.
- EPA, 2005. Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred General Propose (Flat and Complex Terrain) Dispersion Model and Other Revision. *Fed. Reg.*, 70(215):68218-68261.
- Evianie, D., 2008. Pemodelan Dampak Lingkungan Polutan Karbon Monoksida (CO) dari Sektor Transportasi Terhadap Kualitas Udara. *Thesis*, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada.

- Flachbart, P., 1999. Human Exposure to Carbon Monoxide from Mobile Source. *Chemosphere-Global Change Science*, 1(1-3):301-329.
- Garza, V.J., Graney, D.P., Sperling D., Niemieter, D., Eisinger, T., Kear, D., Chang, Y., dan Meng, M., 1997. *Transportation Project-Level Carbon Monoxide Protocol*, Davis: Environmental Program of Caltrans, Institute of Transportation Studies, University of California, California
- Gupta, N., Qutebha, M., dan Sambi, S., 2011. Prediction of Spatial Concentration Distribution of Carbon Monoxide on Urban Street in Delhi: A Comparative Study. *J. Env. Dev.*, 5(3):566-573.
- Ismiyati, Malita, D., dan Saidah, D., 2014. Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, 1(3):241-247.
- Majumdar, B., Dutta, A., Chakrabarty, S., dan Ray, S., 2010. Assessment of Vehicular Pollution in Kolkata, India, Using CALINE 4 Model. *Environ Monit Assess*, 170:33-43.
- Raub, J.A, Mathieu-Nolf, M., Hampson, N.B., dan Thom, S.R., 2000. Review: Carbon Monoxide Poisoning — A Public Health Perspective. *Toxicology*, 145, 1-14.
- Rood, A. S., 2014. Performance Evaluation of AERMOD, CALPUFF, and Legacy Air Dispersion Models Using the Winter Validation Tracer Study Dataset. *Atmos. Environ.*, 89:707-720.
- Sharma, N., Gulia, S., Dyani, R. dan Singh, A., 2013. Performance Evaluation of CALINE 4 Dispersion Model for An Urban Highway Corridor in Delhi. *J. Sci. Ind. Res*, 72(8):521 - 530.
- Steven, G.P., Alan, J.C., Robert, J.P., Roger, W.B., Jeffrey, C.W., Akula, V., Robert, B.W., Russel, F.L., dan Warren, D.P., 2004. AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part II: Model Performance Against 17 Field Study Database. *J. Appl. Meteorol.*, 44:694-708.
- Taylor, R., 1990. Interpretation of The Correlation Coefficient: A Basic Review. *J. Diagn. Med. Sonogr.*, 6(1):35-39.
- Yang, D., Chen, G., dan Yu, Y., 2007. Inter-Comparison of AERMOD and ISC3 Modeling Results to the Alaska Tracer Field Experiment. *Chin. J. Geochem.*, 26(2), 182-185.
- Zou, B., Zhan, F., Wilson, J., dan Zeng, Y., 2010. Performance of AERMOD at Different Scales. *Simul. Model. Pract. Th.*, 18:612-623.